

Titre: Méthode d'analyse et de gestion du risque pour les ressources
Title: d'eau potable

Auteur: Daniel Mongelard
Author:

Date: 2007

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Mongelard, D. (2007). Méthode d'analyse et de gestion du risque pour les
Citation: ressources d'eau potable [Master's thesis, École Polytechnique de Montréal].
PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/8093/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/8093/>
PolyPublie URL:

**Directeurs de
recherche:**
Advisors:

Programme: Unspecified
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

**MÉTHODE D'ANALYSE ET DE GESTION DU RISQUE POUR LES
RESSOURCES D'EAU POTABLE**

DANIEL MONGELARD

DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE CIVIL)
DÉCEMBRE 2007



Library and
Archives Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Published Heritage
Branch

Direction du
Patrimoine de l'édition

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

ISBN: 978-0-494-36925-8

Our file Notre référence

ISBN: 978-0-494-36925-8

NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

**MÉTHODE D'ANALYSE ET DE GESTION DU RISQUE POUR LES
RESSOURCES D'EAU POTABLE**

présenté par : MONGELARD Daniel

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

Mme DORNER Sarah, Ph.D., présidente

Mme PRÉVOST Michèle, Ph.D., membre et directeur de recherche

M. BERNIER Benoit, ing. , membre

À toutes les rivières du Québec.

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier ma directrice de recherche, Michèle Prévost, les professeurs, les associés et les partenaires de recherche de la Chaire en eau potable, ainsi que les étudiants qui ont supportés mes milles et une histoires à dormir debout.

RÉSUMÉ

Des programmes de protection des ressources d'eau potable sont déjà mise en place ou sont en cours d'implantation dans plusieurs pays occidentaux. Ces programmes ont pour objectif d'améliorer ou de maintenir la qualité et la quantité de l'eau brute aux prises d'eau potable. La présente étude propose une approche géo-centrée pour analyser et gérer les risques. Cette approche se base sur trois méthodes d'analyse et de gestion du risque : HACCP, multi-barrières et STAMP.

Les cinq étapes de l'approche proposée sont : 1) délimiter la zone d'intervention, 2) créer un comité de protection de la ressource, 3) caractériser les barrières de la ressource, 4) analyser les vulnérabilités des barrières, et 5) gérer la performance des barrières. Une étude de cas applique l'approche proposée à la ressource « rivière des Prairies » qui est située dans la province de Québec entre l'île de Montréal et de Laval. Des index de vulnérabilité et de risque sont construits et calculés pour identifier les points critiques et les points d'intervention prioritaire parmi les trop-pleins des réseaux d'égouts des villes de Laval et de Montréal.

ABSTRACT

Drinking water source protection programs have already been established or are currently in the implementation phase in many western countries. The objective of these programs is to improve and maintain the quality and the quantity of raw water at drinking water treatment plant intakes. This study proposes a geocentric approach to perform risk analysis and management. The approach is based on three different risk analysis and management methodologies: HACCP, multi-barriers, and STAMP.

The five steps of the approach are: 1) delineate the source protection area, 2) create a source protection committee, 3) characterize the source protection barriers, 4) assess the barriers vulnerabilities, and 5) manage barriers' performances. A case study was done to apply this approach to a drinking water source: "Rivière des Prairies", located between the Montreal and Laval islands in Quebec, Canada. Vulnerability and risk indexes were developed to identify critical and prioritise intervention points among the sewage network overflows.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	V
RÉSUMÉ.....	VI
ABSTRACT	VII
TABLE DES MATIÈRES	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	XI
LISTE DES FIGURES	XII
LISTE DES ANNEXES.....	XV
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 REVUE GÉNÉRALE.....	4
1.1 PROGRAMMES, POLITIQUES ET PROCÉDURES.....	4
1.1.1 <i>Organisation mondiale de la santé</i>	4
1.1.2 <i>Nouvelle-Zélande</i>	9
1.1.3 <i>Ontario</i>	12
1.2 ANALYSE DU RISQUE.....	16
1.2.1 <i>Épidémiologie</i>	16
1.2.2 <i>Analyse quantitative du risque</i>	18
1.2.3 <i>Analyse qualitative du risque</i>	22
1.3 INDEX DE VULNÉRABILITÉ	25
1.3.1 <i>Construction et limites des index de vulnérabilité</i>	25
1.3.2 <i>Exemples d'index de vulnérabilité: DRASTIC et WRASTIC.</i>	27
CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE.....	28
2.1 CONTEXTE	28

2.2 DESCRIPTION	28
2.2.1 Délimiter et cartographier la zone d'intervention.....	29
2.2.2 Créer un comité de protection de la ressource.....	30
2.2.3 Caractériser les barrières de la ressource	30
2.2.4 Analyser la vulnérabilité des prises d'eau (face aux points de déficiences des barrières).....	32
2.2.5 Gérer la performance des barrières.....	33
2.3 OUTILS	34
2.4 DONNÉES.....	35
2.5 LIMITES	36
2.5.1 Définition des seuils aux points d'entrées et de sorties hydrologiques des zones d'intervention.....	36
2.5.2 Calcul des index de vulnérabilité et des index de risque.....	37
2.5.3 Accès aux données.....	37
2.6 DÉVELOPPEMENTS FUTURS.....	37
2.6.1 Intégration à ArcHydro®.....	37
2.6.2 Modélisations environnementales.....	38
2.6.3 Acquisition et traitement des données en temps réel.....	38
CHAPITRE 3 ÉTUDE DE CAS.....	40
3.1 CONTEXTE	40
3.2 DÉLIMITATION DE LA ZONE D'INTERVENTION : RIVIÈRE DES PRAIRIES	41
3.3 CARACTÉRISATION DES BARRIÈRES.....	43
3.3.1 Identification des barrières.....	43
3.3.2 Identification des points de déficience	44
3.4 ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ DES PRISES D'EAU FACE AUX POINTS DE DÉFICIENCES DE LA BARRIÈRE « RÉSEAU D'ÉGOUTS ».....	47
3.4.1 Information sur les trop-pleins	47
3.4.2 La création des index de vulnérabilité	49
3.5 GESTION DE LA PERFORMANCE DES BARRIÈRES	67

3.5.1 Contraintes imposées aux trop-pleins	67
3.5.2 Surveillance de la contrainte	67
3.5.3 Intervention.....	69
CHAPITRE 4 DISCUSSION SUR LES RÉSULTATS.....	79
4.1 STRATEGIE D'ANALYSE : VERS DES INDEX PLUS QUANTITATIF.....	79
4.2 SYNTHÈSE DES RÉSULTATS	87
4.2.1 Les points critiques.....	87
4.2.2 Les points d'intervention prioritaire	88
4.3 DES INDEX POUR LES RISQUES CHIMIQUES.....	89
CONCLUSION	93
BIBLIOGRAPHIE	95
ANNEXES.....	958

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1: TABLE D'INFORMATION DES RISQUES DE L'APPROCHE NÉO-ZÉLANDAISE (SOURCE : (NEW ZEALAND, MINISTRY OF HEALTH, 2005)	10
TABLEAU 2: CLASSEMENT DES NIVEAUX DE RISQUE EN NOUVELLE-ZÉLANDE (SOURCE : (NEW ZEALAND, MINISTRY OF HEALTH, 2005)	11
TABLEAU 3: ÉCHELLE DU PARAMÈTRE "PROBABILITÉ" (SOURCE : (NEW ZEALAND, MINISTRY OF HEALTH, 2005).....	11
TABLEAU 4: ÉCHELLE DU PARAMÈTRE "CONSÉQUENCES" (SOURCE : (NEW ZEALAND, MINISTRY OF HEALTH, 2005).....	12
TABLEAU 5: MATRICE D'UNE ÉTUDE ÉPIDÉMIOLOGIQUE ANALYTIQUE (SOURCE : MANUEL DE COURS DU PR GAÉTAN CARRIER).....	17
TABLEAU 6 : EXEMPLE DES DIAMÈTRES ET DES DISTANCES DES TROP-PLEINS DES PRISES D'EAU.	48
TABLEAU 7 : EXEMPLE DU NOMBRE DE DÉBORDEMENTS, DES EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES ET DU NOMBRE DE DÉPASSEMENTS DES EXIGENCES SUR UNE PÉRIODE DONNÉE POUR DES TROP-PLEINS DURANT L'ANNÉE 2006.....	49
TABLEAU 8 : POINTS CRITIQUES IDENTIFIÉS PAR LES INDEX DE VULNÉRABILITÉ PARMI LES TROP-PLEINS.....	87
TABLEAU 9 : POINTS D'INTERVENTION PRIORITAIRE IDENTIFIÉS PAR L'INDEX DE RISQUE.....	88
TABLEAU 10 : INFORMATIONS SUR LES TROP-PLEINS 3460(1D) ET 3480(5D) DU RÉSEAU D'ÉGOUTS DE MONTRÉAL.....	89

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: LES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS POUR LA PROTECTION DES RESSOURCES D’EAU POTABLE	2
FIGURE 2: CADRE MÉTHODOLOGIQUE POUR UNE EAU POTABLE Saine DE L’OMS.....	5
FIGURE 3: STRUCTURE DE LA GOUVERNANCE ONTARIENNE POUR LA PROTECTION DES RESSOURCES D’EAU POTABLE (SOURCE : <i>ONTARIO’S MINISTRY OF ENVIRONMENT, 2004</i>).....	13
FIGURE 4: CADRE MÉTHODOLOGIQUE ONTARIENNE POUR L’ÉVALUATION DES RISQUES (SOURCE: <i>ONTARIO’S MINISTRY OF ENVIRONMENT, 2004</i>).....	14
FIGURE 5: BOUQUET D’OUTILS D’INTERVENTIONS POUR LA PROTECTION DE LA RESSOURCE (SOURCE : <i>ONTARIO’S MINISTRY OF ENVIRONMENT, 2004</i>).	16
FIGURE 6: EXEMPLE DE COURBES « DOSE-RÉPONSE » POUR UN CONTAMINANT HYPOTHÉTIQUE (SOURCE : MANUEL DE COURS DU PR GAÉTAN CARRIER)..	19
FIGURE 7: ÉTAPES DE L’ÉVALUATION QUANTITATIVE DU RISQUE MICROBIOLOGIQUE (QMRA) EN EAU POTABLE (SOURCE : DE PETTERSON ET AL., 2006).....	21
FIGURE 8: MODÈLE CONCEPTUEL DES VOIES D’INFECTION DU ROTAVIRUS (SOURCE : HAAS, EISENBERG 2001, (HUNTER ET AL., 2003)).	22
FIGURE 9: EXEMPLE D’UN RÉSEAU D’ÉCOULEMENT SCHÉMATIQUE NON-GÉORÉFÉRENCÉ	32
FIGURE 10: DÉLIMITATION DE LA ZONE D’INTERVENTION : RIVIÈRE DES PRAIRIES	42
FIGURE 11: SCHÉMA D’ÉCOULEMENT (RÉSEAUX D’ÉGOUTS ET RIVIÈRES SUR LES ÎLES DE MONTRÉAL, LAVAL ET BIZARD).....	45
FIGURE 12: LOCALISATION DES POINTS DE DÉFICIENCES : TROP-PLEINS QUI SE DÉVERSENT DANS LA RIVIÈRE DES PRAIRIES À PARTIR DES RÉSEAUX D’ÉGOUTS DE MONTRÉAL ET DE LAVAL.	46
FIGURE 13 : LOCALISATION DE LA PRISE D’EAU DE L’USINE DE PIERREFONDS ET LE TROP-PLEIN 3560(1D).....	51

FIGURE 14: LA PRISE D'EAU DE PIERREFONDS ET LE TROP-PLEIN 3560(1D), (ZOOM-IN) AVEC UN TRACÉ DU RÉSEAU D'ÉCOULEMENT.	52
FIGURE 15: CLASSIFICATION DES INDEX DE VULNÉRABILITÉ ADDITIFS DES TROP- PLEINS DE LAVAL ET DE MONTRÉAL POUR LA PRISE D'EAU DE CHOMEDEY.	56
FIGURE 16: CLASSIFICATION DES INDEX DE VULNÉRABILITÉ ADDITIFS DES TROP- PLEINS DE LAVAL ET DE MONTRÉAL POUR LA PRISE D'EAU DE PONT- VIAU.	57
FIGURE 17: INDEX DE VULNÉRABILITÉ MULTIPLICATIF DIAMÈTRE-DISTANCE- DÉBORDEMENT POUR LA PRISE D'EAU DE CHOMEDEY.	60
FIGURE 18: INDEX DE VULNÉRABILITÉ MULTIPLICATIF DIAMÈTRE-DISTANCE- DÉBORDEMENT POUR LA PRISE D'EAU DE CHOMEDEY (ZOOM-IN).....	61
FIGURE 19: INDEX DE VULNÉRABILITÉ MULTIPLICATIF DIAMÈTRE-DISTANCE- DÉBORDEMENT POUR LA PRISE D'EAU DE PONT-VIAU.	62
FIGURE 20: INDEX DE VULNÉRABILITÉ MULTIPLICATIF DIAMÈTRE-DISTANCE- DÉBORDEMENT POUR LA PRISE D'EAU DE PONT-VIAU (ZOOM-IN).....	63
FIGURE 21: POINTS CRITIQUES IDENTIFIÉS PAR L'INDEX DE VULNÉRABILITÉ MULTIPLICATIF DIAMÈTRE-DISTANCE-DÉBORDEMENT POUR LA PRISE D'EAU DE CHOMEDEY.	64
FIGURE 22: POINTS CRITIQUES IDENTIFIÉS PAR L'INDEX DE VULNÉRABILITÉ MULTIPLICATIF DIAMÈTRE-DISTANCE-DÉBORDEMENT POUR LA PRISE D'EAU DE PONT-VIAU.	65
FIGURE 23: POINT CRITIQUE 3380(1D) IDENTIFIÉ PAR L'INDEX DE VULNÉRABILITÉ MULTIPLICATIF DIAMÈTRE-DISTANCE-DÉBORDEMENT POUR LA PRISE D'EAU DE PONT-VIAU.	66
FIGURE 24: SOMME DES DÉPASSEMENTS DES EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES POUR LES DÉBORDEMENTS DES ANNÉES 2004 À 2007.	68

FIGURE 25: INDEX DE RISQUE EN FONCTION DU DIAMÈTRE, DE LA DISTANCE ET DU DÉPASSEMENT DES EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES POUR LES ANNÉES 2004 À 2007 POUR LA PRISE D'EAU DE CHOMEDEY.	72
FIGURE 26: INDEX DE RISQUE EN FONCTION DU DIAMÈTRE, DE LA DISTANCE ET DU DÉPASSEMENT DES EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES POUR LES ANNÉES 2004 À 2007 POUR LA PRISE D'EAU DE CHOMEDEY (ZOOM-IN).	73
FIGURE 27: INDEX DE RISQUE EN FONCTION DU DIAMÈTRE, DE LA DISTANCE ET DU DÉPASSEMENT DES EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES POUR LES ANNÉES 2004 À 2007 POUR LA PRISE D'EAU DE PONT-VIAU.	74
FIGURE 28: INDEX DE RISQUE EN FONCTION DU DIAMÈTRE, DE LA DISTANCE ET DU DÉPASSEMENT DES EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES POUR LES ANNÉES 2004 À 2007 POUR LA PRISE D'EAU DE PONT-VIAU (ZOOM-IN).	75
FIGURE 29: ZONE-TAMPON DE 2 KM EN AMONT DE LA PRISE D'EAU CHOMEDEY.	76
FIGURE 30: ZONE-TAMPON DE 2 KM EN AMONT DE LA PRISE D'EAU CHOMEDEY (ZOOM-IN).	77
FIGURE 31: RAPPORT ENTRE LE DÉBIT DES TROP-PLEINS DU RÉSEAU DE LAVAL ET LE DÉBIT MOYEN DE LA RIVIÈRE DES PRAIRIES DE 1987-2007 EN %.	82
FIGURE 32: INDEX DE VULNÉRABILITÉ "DÉBIT" POUR LA PRISE D'EAU DE CHOMEDEY.	83
FIGURE 33: POINTS CRITIQUES IDENTIFIÉS PAR L'INDEX DE VULNÉRABILITÉ "DÉBIT" POUR LA PRISE DE CHOMEDEY.	84
FIGURE 34: INDEX DE VULNÉRABILITÉ "DÉBIT" POUR LA PRISE D'EAU DE PONT-VIAU.	85
FIGURE 35: POINTS CRITIQUES IDENTIFIÉS PAR L'INDEX DE VULNÉRABILITÉ "DÉBIT" POUR LA PRISE DE PONT-VIAU.	86
FIGURE 36: INDUSTRIES MONTRÉALAISES ET LAVALLOISES INSCRITES DANS LA BASE DE DONNÉES "INVENTAIRE NATIONAL DES REJETS DE POLLUANTS" (INRP) D'ENVIRONNEMENT CANADA.	90
FIGURE 37: INDUSTRIES MONTRÉALAISES ET LAVALLOISES INSCRITES DANS LA BASE DE DONNÉES "INVENTAIRE NATIONAL DES REJETS DE POLLUANTS" (INRP) D'ENVIRONNEMENT CANADA (ZOOM-IN).	91

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Les étapes clés pour mettre en place un Plan d'Eau Saine de l'Organisation mondiale de la santé	98
Annexe 2 : Diagramme des multi-barrières de l'OMS	99
Annexe 3 : « Public Health Risk Management Plan » de Nouvelle-Zélande	100
Annexe 4 : Exemple de « tableau d'information sur les risques » de Nouvelle-Zélande	103
Annexe 5 : Bassins versants de l'Ontario	110
Annexe 6 : Évènements menant à la dégradation de la qualité de l'eau potable et contribuant aux épidémies d'origine hydrique.....	111
Annexe 7 : Forme générale du modèle de sécurité technico-social	112
Annexe 8 : Structure du contrôle de la sécurité pour l'incident d'eau contaminée de Walkerton	113
Annexe 9 : Modèle simplifié de la dynamique du système qui a mené à la perte de la navette Columbia.....	114
Annexe 10 : Méthode de classification « Jenks Natural Breaks »	115

INTRODUCTION

Des programmes de protection des ressources d'eau potable existent dans plusieurs pays et provinces canadiennes. Ces programmes visent à mettre en place et à maintenir des barrières de protection pour contrer des facteurs de risque hydriques (i.e. bactéries, virus, toxines algales, protozoaires, etc.) qui ont pour origine la ressource (lacs, rivières et aquifères). Les barrières de la ressource s'ajoutent donc aux barrières classiques du traitement et de confinement (lors de la distribution de l'eau potable) pour prévenir les risques de maladies hydriques.

Les états qualitatifs et quantitatifs de l'eau brute aux prises d'eau potable sont au centre des préoccupations des programmes de protection de la ressource. Le maintien de la qualité et de la quantité de l'eau brute aux prises d'eau potable est la préoccupation principale de ce travail. Les barrières de protection de la ressource sont multiples et prennent différentes formes : les législations et les contrôles des rejets chimiques et microbiologiques, les procédés d'épuration des eaux usées, la gestion des débits de sorties des barrages, etc.

Les programmes de protection de la ressource visent à structurer, organiser et valider la performance de ces barrières de protection qui sont gérées par de multiples organismes (municipalités, ministères, exploitants de stations hydroélectriques, etc.).

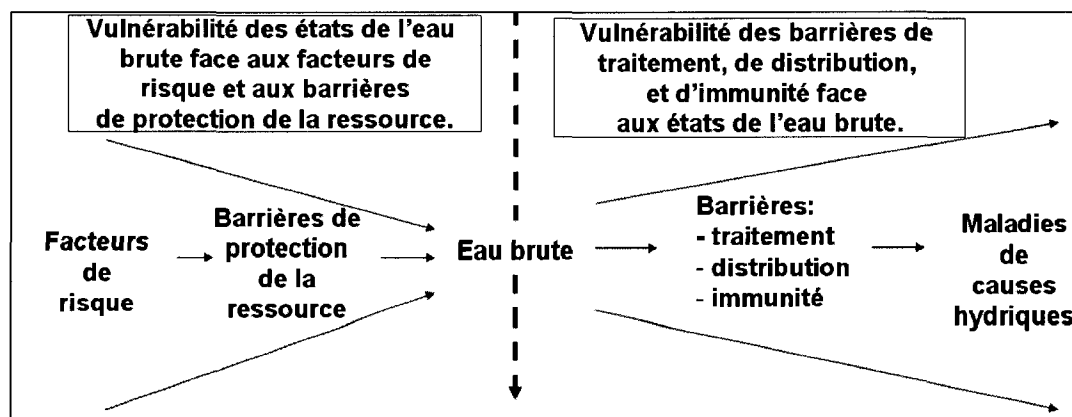


Figure 1: Les principaux éléments pour la protection des ressources d'eau potable

La présente étude se limite aux ressources d'eau potable de surface, c'est-à-dire les lacs et les rivières. Les enjeux et les problématiques typiques des eaux souterraines ne sont pas abordés dans ce texte. De plus, seuls des cas en milieu urbain sont considérés.

Le document est séparé en quatre chapitres : une revue de littérature, la présentation d'une approche pour construire un système de protection de la ressource, une étude de cas pour démontrer l'application de la méthode proposée, et finalement, une discussion sur les résultats.

La revue de littérature présente plusieurs méthodes d'analyse et de gestion du risque utilisées dans les domaines de l'eau potable, de l'agroalimentaire, de l'aéronautique, etc. Ces méthodes d'analyse et de gestion du risque sont classées en trois groupes : épidémiologique, quantitative et qualitative.

L'approche de protection de la ressource proposée dans le deuxième chapitre s'inspire des méthodes d'analyse et de gestion du risque qualitative présentées dans le premier chapitre. L'approche proposée est géo-centrée, dans le sens, qu'elle se concentre sur des éléments géographiques.

L'étude de cas choisie est la rivière des Prairies. Cette rivière est située dans la province de Québec entre les îles de Montréal et de Laval. Elle sert de source pour trois prises d'eau potable. Étant donné le caractère académique de l'étude, certaines étapes de l'approche proposée au chapitre 2 n'ont pu être réalisées.

Chapitre 1 REVUE GÉNÉRALE

1.1 Programmes, politiques et procédures

Plusieurs pays et provinces canadiennes ont déjà en place des programmes, politiques ou procédures pour protéger les ressources d'eau potable. Cette partie du mémoire présente les approches proposées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), la Nouvelle-Zélande et l'Ontario. La Nouvelle-Zélande a été choisie parce que son approche est extrêmement détaillée, complète et bien documentée. L'Ontario a été choisie parce que son contexte territorial, juridique et gouvernemental ressemble à celui du Québec. Mais, afin de donner une vision plus large et de mettre en contexte les programmes nationaux, l'approche proposée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) est présentée en premier lieu.

1.1.1 Organisation mondiale de la santé

L'organisation mondiale de la santé propose un cadre méthodologique pour une eau potable saine [Framework for safe drinking water, (World Health Organization (WHO), 2004)] illustré à la Figure 2.

Ce cadre méthodologique inclut mais ne se limite pas à la protection de la ressource. Le traitement et la distribution de l'eau potable font partie intégrante de l'approche proposée par l'OMS. Les objectifs de santé publique, les « plans d'eau potable saine », ainsi que les mesures de surveillance sont les trois étapes de ce cadre décrit ci-dessous.

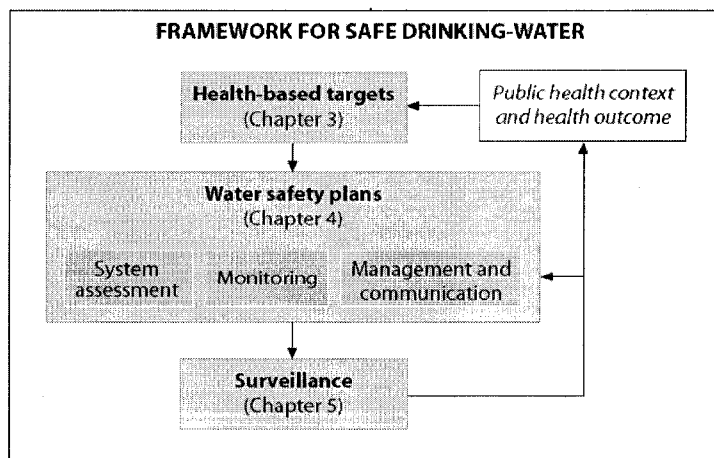


Figure 2: Cadre méthodologique pour une eau potable saine de l'OMS. (source : Framework for safe drinking water, (World Health Organization (WHO), 2004)).

Les objectifs de santé publique

Les objectifs de santé doivent être définis en fonction :

- d'effets mesurables sur la santé de la population (i.e. des objectifs épidémiologiques) ;
- de la qualité microbiologique et chimique de l'eau ;
- ou encore, des performances des systèmes sanitaires de la chaîne d'approvisionnement en eau potable de la ressource jusqu'au robinet. Les performances des systèmes doivent être évaluées selon des normes opérationnelles strictes et bien établies.

Les normes opérationnelles pour l'étape du traitement et de la distribution sont existantes depuis plusieurs décennies, tandis que ceux de la ressource sont encore en développement.

Les Plans d'eau saine

Les Plans d'eau saine [Water safety plans,(World Health Organization (WHO), 2004)] proposés par l'OMS ont trois composantes:

- l'évaluation des systèmes de la ressource au robinet pour déterminer si les objectifs de santé (épidémiologique, qualité de l'eau, performance...) pourront être rencontrés,
- l'identification de mesures de contrôles des systèmes pour gérer les risques identifiés. Pour chaque mesure de contrôle, un moyen de surveillance pour détecter rapidement les déviations,
- la gestion et la communication pour établir les actions qui doivent être prises sous des conditions opérationnelles normales ou durant les incidents. Les évaluations des systèmes, les surveillances opérationnelles et les plans de communication doivent être documentés.

L'OMS considère qu'une validation indépendante pour la performance de chaque système, ainsi qu'une vérification indépendante de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement par un département externe (i.e. Ministère de l'environnement) doivent être effectuées sur une base régulière.

Les étapes détaillées pour mettre en place un Plan d'eau saine se retrouvent à l'Annexe 1 de ce document.

Les Plans d'eau saine de l'OMS, décrite ci-dessus, se basent sur deux concepts du domaine de l'analyse et la gestion des risques : le « Hazard Analysis Critical Control Point » (HACCP) et les multi-barrières.

HACCP

Le HACCP, développé par la NASA pour le contrôle des aliments dans les années 60, est une approche d'analyse et de gestion du risque très populaire dans l'industrie agro-alimentaire.

L'approche peut être divisée en deux parties :

(Les étapes préliminaires)

- 1) former une équipe HACCP ;
- 2) décrire le produit ;
- 3) identifier les usages ;
- 4) construire un diagramme d'écoulement ;
- 5) confirmer la justesse du diagramme d'écoulement sur le site.

(Les principes du HACCP)

- 6) identifier les dangers et évaluer les risques ;
- 7) établir les points critiques de contrôle ;
- 8) définir les critères de contrôle et les seuils critiques ;
- 9) établir un système de surveillance des points critiques de contrôle ;
- 10) identifier les actions à suivre lorsque les critères ne sont pas rencontrés ;
- 11) définir les procédures de vérifications ;
- 12) documenter le système, la surveillance et les actions.

Le HACCP est une approche qui applique le concept de la diligence raisonnable, ce qui signifie la prévention d'un danger prévisible à un coût raisonnable (Jagals et Jagals, 2004). La diligence raisonnable demande que des mesures réalistes soient adoptées pour prévenir l'occurrence de conséquences négatives sur la santé humaine. L'application de ce principe à la chaîne d'approvisionnement en eau potable est une étape significative vers un paradigme axé sur la prévention et la correction, plutôt qu'axé uniquement sur la correction.

Le concept de multi-barrières

Le concept de multi-barrières en analyse et gestion du risque repose sur l'hypothèse qu'un aléa (i.e. réservoir chimique) a moins de probabilité de générer des conséquences négatives si plusieurs barrières sont placées en cascade pour protéger une cible (i.e. la santé d'une population).

L'OMS classe en six groupes les barrières qui protègent la santé d'une population des maladies hydriques:

- 1) Les barrières du bassin versant.
- 2) Les barrières de la source (réservoir ou rivière).
- 3) Les barrières du traitement.
- 4) Les barrières de la distribution.
- 5) Les barrières au robinet.
- 6) Les barrières à l'exposition.

Un schéma qui illustre le concept de multi-barrières pour l'approvisionnement en eau potable se retrouve à l'Annexe 2 de ce document (Hunter et al., 2003).

1.1.2 Nouvelle-Zélande

En Nouvelle-Zélande, une approche préventive a été proposée pour compléter les mesures de contrôle sur la qualité de l'eau potable. Ces contrôles de qualité ont le désavantage d'indiquer la présence d'un risque que si le contaminant se trouve déjà dans l'eau. Les « Public Health Risk Management Plan » de Nouvelle-Zélande veulent encourager les opérateurs d'usines de traitement et des systèmes de distribution à utiliser des principes d'analyse et de gestion du risque à chaque étape de la chaîne d'alimentation d'eau potable (ressource, traitement et distribution). L'objectif est de mettre en place un système préventif.

Les premières étapes de ce plan, décrit dans le document (New Zealand, Ministry of Health, 2005), consiste à :

1. Construire un diagramme d'écoulement.
2. Identifier les barrières.
3. Remplir une table d'information des risques.
4. Établir un échéancier pour les améliorations à effectuer.

L'approche néo-zélandaise considère un incident comme étant la résultante d'une chaîne d'évènements. La table d'information des risques (étape 3) sert à identifier :

- Les évènements qui peuvent introduire dans l'eau des facteurs de risque.
- Les causes possibles d'occurrence de ces évènements.
- Les mesures préventives à prendre pour éviter l'occurrence de ces évènements.
- Les mesures correctives à suivre si les mesures préventives échouent.

Les colonnes et lignes de la table d'information des risques sont présentées au Tableau 1.

Tableau 1: Table d'information des risques de l'approche néo-zélandaise (source : (New Zealand, Ministry of Health, 2005))

Causes	Mesures préventives	Vérification: mesures préventives		Actions correctives
		Quoi vérifier	Signes qu'une action est requise	
Evènement:				
Niveau de risque				

Pour compléter la table d'information des risques, des guides sont disponibles pour chaque étape de la chaîne d'approvisionnement. Par exemple, le guide identifié par l'acronyme S1.1 (New Zealand, Ministry of Health, 2002) concerne spécifiquement les événements nuisibles pour la ressource. Quelques exemples de ce guide se trouvent à l'Annexe 4.

Afin d'évaluer le « niveau de risque » de chaque événement identifié dans la table, une matrice classique en analyse qualitative du risque est utilisée. Les deux paramètres de cette matrice sont : la probabilité que l'évènement se produise et les conséquences de son occurrence.

Le niveau de risque que représente chaque événement peut être représenté par l'équation : Niveau de risque = Probabilité x Conséquences. Le classement des niveaux de risque utilisé en Nouvelle-Zélande est présenté au Tableau 2.

Tableau 2: Classement des niveaux de risque en Nouvelle-Zélande (source : (New Zealand, Ministry of Health, 2005)

Probability	Consequences				
	Insignificant	Minor	Moderate	Major	Catastrophic
Almost certain	High	High	Extreme	Extreme	Extreme
Likely	Moderate	High	High	Extreme	Extreme
Possible	Low	Moderate	High	Extreme	Extreme
Unlikely	Low	Low	Moderate	High	Extreme
Rare	Low	Low	Moderate	High	High

L'échelle du paramètre « Probabilité » utilisée en Nouvelle-Zélande est indiquée au Tableau 3.

Tableau 3: Échelle du paramètre "Probabilité" (source : (New Zealand, Ministry of Health, 2005)

Likelihood ranking	Description
Rare	May occur only in exceptional circumstances (once in 1000 years)
Unlikely	Could occur (once in 100 years)
Possible	Might occur at some time (once in 10 years)
Likely	Will probably occur (once in 1 or 2 years)
Almost certain	Is expected to occur in most circumstances

L'échelle du paramètre "Conséquences" utilisée en Nouvelle-Zélande est indiquée au tableau 4.

Tableau 4: Échelle du paramètre “Conséquences” (source : (New Zealand, Ministry of Health, 2005)

Consequence ranking	Description
Insignificant	Insignificant
Minor	Minor impact for small population
Moderate	Minor impact for big population
Major	Major impact for small population
Catastrophic	Major impact for big population

Une description complète et plus détaillée des « Public Health Risk Management Plan » se trouve à l’Annexe 3.

1.1.3 Ontario

L’approche ontarienne est différente des deux approches précédentes car elle se concentre essentiellement sur la ressource et utilise les bassins versants au lieu des prises d’eau comme élément central de son programme. Par contre, l’objectif reste le même : prévenir la dégradation de l’eau brute des usines de traitement d’eau potable.

Gouvernance

Bien que les Plans de protection de la ressource visent à maintenir la qualité et la quantité de l’eau brute aux prises d’eau des usines de traitement, les plans de protection de la ressource ontariens ne sont pas gérés par les fournisseurs d’eau potable mais plutôt par des Agences de protection de la ressource (Ontario's Ministry of Environment, 2004). Ces agences qui agissent à l’échelle des bassins versants ontariens dont la cartographie se trouve à l’Annexe 5. Ces Agences ont pour mandat la mise en place d’un Comité de protection de la ressource pour leur bassin versant respectif. Les comités sont formés de différentes parties-prenantes du bassin versant, telles que les municipalités, les

industries, les organisations agricoles et les propriétaires de barrages. L'objectif de ces comités est de développer un plan de protection de la ressource pour leur bassin versant.

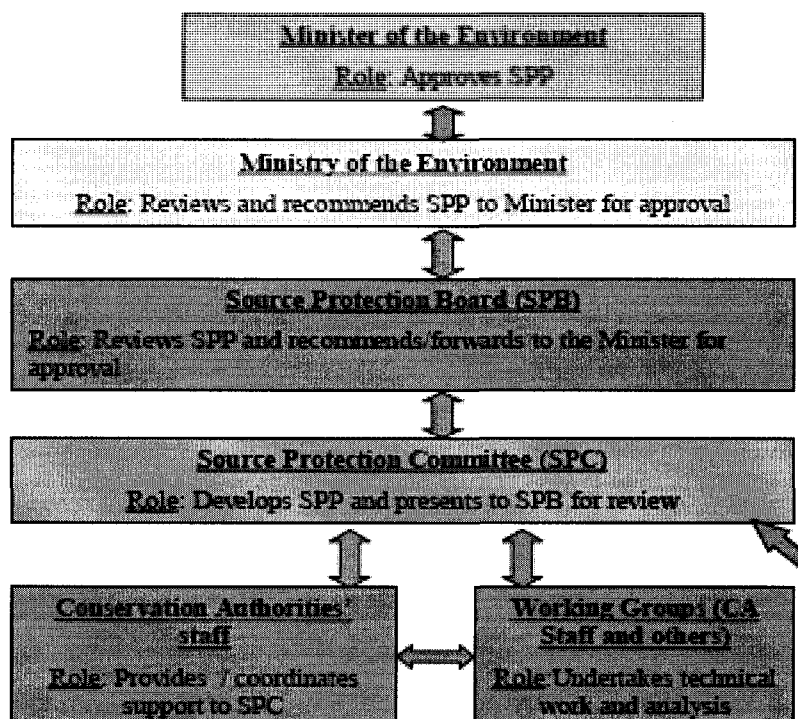


Figure 3: Structure de la gouvernance ontarienne pour la protection des ressources d'eau potable (source : *Ontario's Ministry of Environment, 2004*).

Processus d'analyse du risque

L'évaluation du risque se fait à deux échelles : locale et régionale. L'évaluation du risque local peut être menée directement par une municipalité, tandis que l'évaluation du risque régional (bassin versant) est menée exclusivement par une des Agences de protection de la ressource.

Les risques sont évalués selon une méthode semi-quantitative et sont classés dans une des quatre catégories suivantes : le risque significatif, le risque modéré, le risque bas et

le risque négligeable. Les plans de protection de la ressource doivent inclure des mesures d'action et un échéancier pour réduire les risques classés « significatifs ».

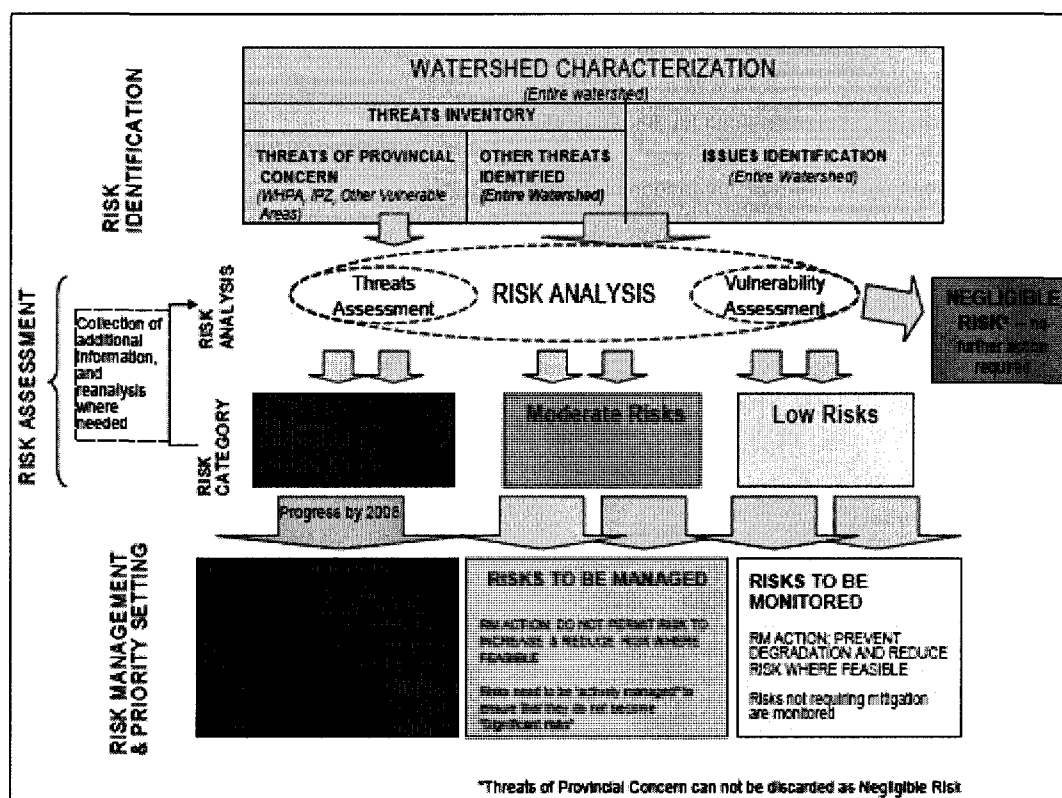


Figure 4: Cadre méthodologique ontarienne pour l'évaluation des risques (source: Ontario's Ministry of Environment, 2004).

Gestion de l'information

L'accès et le partage de l'information demandent une coordination et une coopération entre les parties-prenantes, les Agences de protection de la ressource, et les différents paliers et départements gouvernementaux. Les systèmes d'informations géographiques et des lois d'accès à l'information sont les deux moyens privilégiés en Ontario pour atteindre ces objectifs.

Zones tampons

Dans le cadre de l'évaluation des risques à l'échelle locale (i.e. municipale), des zones-tampons doivent être délimitées immédiatement en amont des prises d'eau municipales. Ses frontières sont déterminées par le temps de réponse requis pour éviter que des contaminants à hautes concentrations entrent dans la prise d'eau suite à un évènement critique (un accident chimique, un déluge...). Le temps de réponse par défaut a été établi à deux heures. Les facteurs de risques (i.e. surverse municipale, usine, ferme...) localisés à l'intérieure de cette zone-tampon (deux heures d'écoulement en amont la prise d'eau) sont considérés comme étant prioritaires. L'impact d'un déversement potentiel causé par des activités à l'intérieur de cette zone doit être évalué. Pour les grands lacs, la zone tampon par défaut est délimitée par un rayon d'un kilomètre autour de la prise d'eau.

La gestion du risque : les interventions

Étant donné la structure des Comités de Protection de la Ressource qui regroupent plusieurs parties-prenantes à une même table, les outils disponibles pour les interventions qui réduisent les risques sont multiples. Elles peuvent être des ententes entre les parties prenantes, des programmes éducatifs, des directives ou encore de nouvelles lois. Ce vaste choix d'outils d'intervention permet aux municipalités et aux Agences de protection de la ressource d'élaborer un plan de gestion du risque en abordant les enjeux au cas par cas.

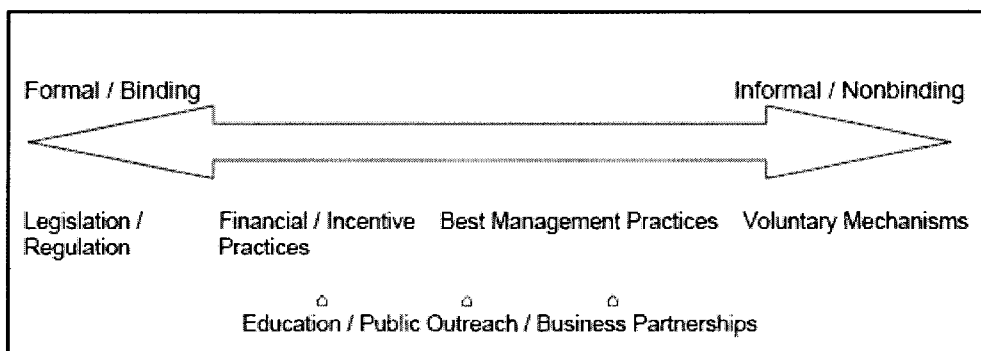


Figure 5: Bouquet d'outils d'interventions pour la protection de la ressource (source : *Ontario's Ministry of Environment, 2004*).

1.2 Analyse du risque

Cette section présente les méthodes d'analyse et de gestion du risque dans le domaine de l'eau potable qui se résume actuellement à trois différentes méthodes : l'épidémiologie, l'évaluation quantitative du risque et l'évaluation qualitative du risque.

1.2.1 Épidémiologie

Épidémiologie

Il existe plusieurs types d'études épidémiologiques : descriptives, analytiques et évaluatives d'une intervention (Hennekens et al., 1998).

Seules les études analytiques servent à tester les hypothèses de corrélations entre les maladies (i.e. une maladie hydrique) et les expositions (i.e. un contaminant hydrique) (Hennekens et al., 1998). Les résultats brutes des études analytiques peuvent être résumés dans un tableau qui contient quatre chiffres : le nombre de malades exposés, le nombre de malades non-exposés, le nombre de non-malades exposés, le nombre de non-malades non-exposés.

Tableau 5: Matrice d'une étude épidémiologique analytique (Source : Manuel de cours du Pr Gaétan Carrier)

	Malade	Non-Malade (témoin)
Exposé	Nombre de malades, exposés.	Nombre de non-malades, exposés.
Non-Exposé	Nombre de malades, non-exposés.	Nombre de non-malades, non-exposés.

Les valeurs de ce tableau permettent d'évaluer le risque relatif d'une maladie (i.e. gastro-entérite) pour une population suite à son exposition à un contaminant (i.e. *Salmonelle*).

Les études analytiques peuvent être classées en deux groupes : les études cas-témoins et les études de cohortes.

Études cas-témoins

Les études cas-témoins prennent pour point de départ les cas (les malades). Elles comparent l'exposition des cas versus l'exposition des témoins (des non-malades) à des facteurs de risque bien définis, par exemple, la défaillance d'un filtre à l'usine de traitement d'eau potable). Durant ou suite à une épidémie importante d'origine hydrique aux États-Unis ou au Royaume-Uni, des études cas-témoins sont généralement réalisées pour identifier les facteurs de risque reliés à la qualité de l'eau (Hunter et al., 2007).

Études de cohortes

À l'inverse, les études de cohortes prennent comme point de départ l'exposition à des facteurs de risque, par exemple, l'eau potable de mauvaise qualité. Ensuite, elles comparent le taux de maladie chez les exposés au taux de maladie chez les non-exposés. Ce type d'étude est rarement utilisé dans le domaine de l'eau potable. Une surveillance

continue et coûteuse de deux cohortes (groupe représentatif d'une population) est requise. À Melbourne, un système de surveillance a été mis en place durant 68 semaines pour réaliser une étude de cohortes en 2001 (Hellard et al., 2001). Aucune évidence de maladie d'origine hydrique n'a été mise en évidence durant cette période.

Limites

Malgré les coûts élevés, les études épidémiologiques bien ciblées ont permis d'obtenir des données solides pour établir des liens entre la qualité de l'eau et la maladie (voir Annexe 6). Par contre, séparer les cas de maladies selon les différentes voies d'infection est difficile à accomplir. Évaluer l'exposition des différents groupes d'une population à un contaminant hydrique est aussi difficile à réaliser. La définition des cas peut aussi être un obstacle (i.e. plusieurs facteurs de risque peuvent contribuer à une maladie gastro-intestinale). De plus, l'existence intrinsèque de biais et de facteurs confondants dans toutes études épidémiologiques (i.e. différences d'âge, de statut social entre les groupes populationnels), rendent leurs conclusions facilement critiquables (Hunter et al., 2003).

1.2.2 Analyse quantitative du risque

L'analyse quantitative du risque est un domaine émergent. Elle est utilisée en toxicologie pour évaluer le risque chimique et en immunologie pour évaluer le risque microbiologique. Dans les deux cas, l'analyse tente d'évaluer l'effet de l'exposition d'un contaminant en fonction des doses sur la santé d'une population humaine tel qu'illustré à la Figure 6.

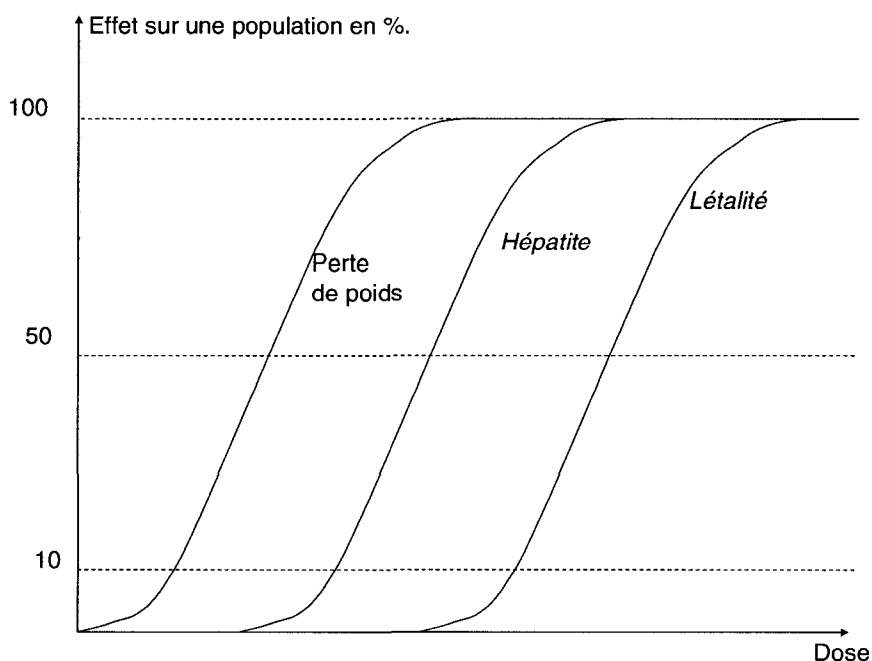


Figure 6: Exemple de courbes « dose-réponse » pour un contaminant hypothétique (source : Manuel de cours du Pr Gaétan Carrier)

En général, les courbes dose-réponse sont extrapolées à partir d'expériences sur des animaux, à la suite d'incidents toxicologiques ou épidémiologiques.

Analyse quantitative du risque toxicologique

En toxicologie, l'objectif est de déterminer deux seuils :

- Le niveau d'exposition le plus élevé sans effet néfaste (NOAEL).
- Le niveau le plus faible présentant un effet néfaste (LOAEL).

Ces deux seuils servent de guide pour fixer des objectifs de concentrations maximales de contaminants pour l'air, l'eau et la nourriture.

Analyse quantitative du risque microbiologique (QMRA)

Les étapes d'une analyse quantitative du risque microbiologique pour les contaminants hydriques sont : l'identification des dangers, l'évaluation de l'exposition, l'évaluation de la dose-réponse et la caractérisation du risque. Un exposé détaillé de ces étapes est illustré à la Figure 7.

Deux équations ont été proposées pour modéliser les courbes dose-réponse pour les contaminants microbiologiques (Haas, 1983) :

- Le modèle exponentiel : $P_{\text{infection}}(D) = 1 - \exp(-r \times D)$

avec D = dose, r = probabilité qu'un pathogène ingéré produise une infection.

- Le modèle Bêta – Poisson : $P_{\text{infection}}(D) = 1 - (1 + (D / ID_{50}))^{-\alpha}$

avec D = dose, ID_{50} = dose infectieuse médiane, α = facteur d'hétérogénéité de l'interaction hôte-pathogène.

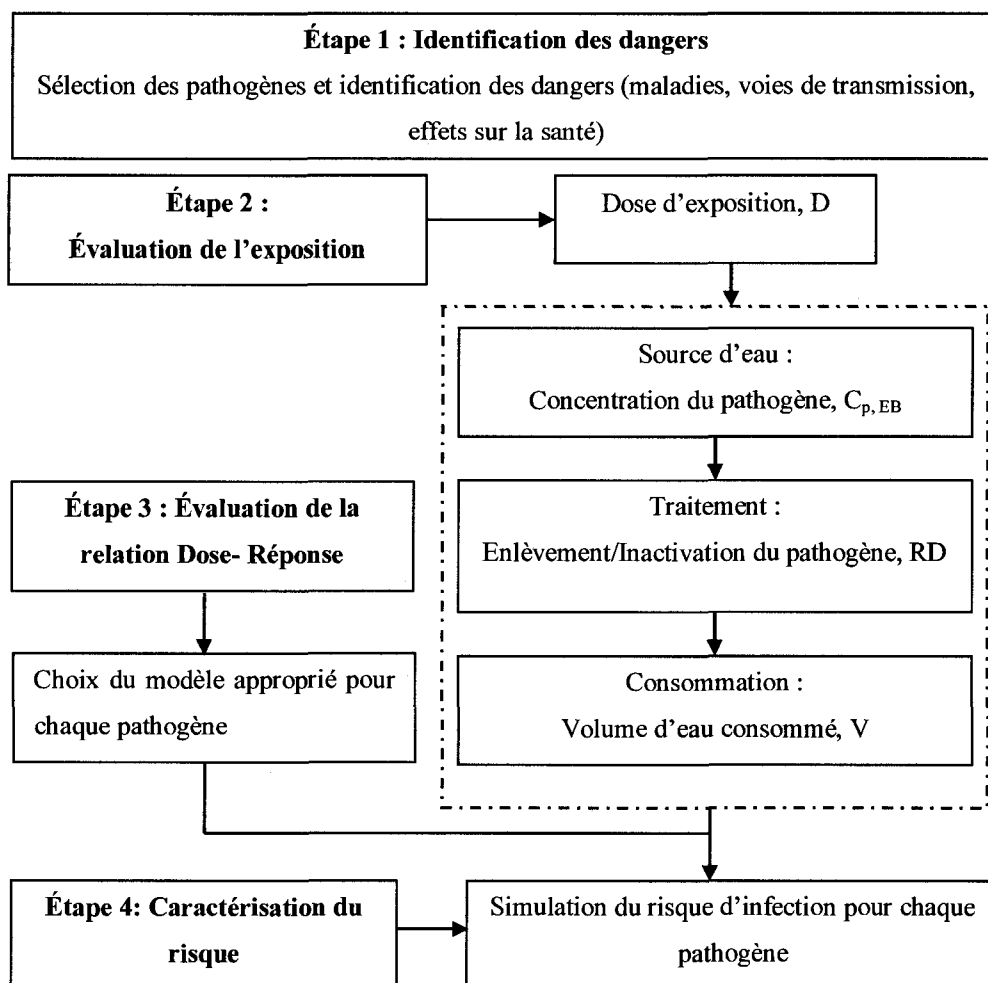
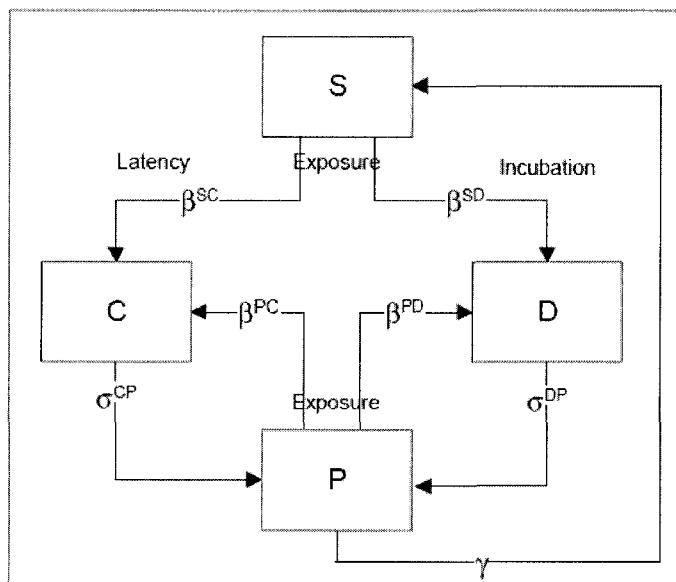


Figure 7: Étapes de l'évaluation quantitative du risque microbiologique (QMRA) en eau potable (source : de Petterson et al., 2006).

Limites

Les modèles statistiques utilisés dans la méthode QMRA ne tiennent pas compte de plusieurs facteurs importants qui modulent le potentiel infectieux des pathogènes : la transmission secondaire, l'immunité et la dynamique populationnelle (Hunter et al., 2003). Un modèle de transmission plus complet qui tient compte de ces facteurs est présenté à la Figure 8.

La méthode QMRA est en développement et n'est pas encore une science exacte malgré l'utilisation de formule mathématique et de valeurs numériques.



S: susceptible = not infectious, not symptomatic. C: carrier = infectious, not symptomatic. D: diseased = infectious, symptomatic. P: post Infection = not infectious, not symptomatic with short-term or partial immunity.

Figure 8: Modèle conceptuel des voies d'infection du rotavirus (source : Haas, Einsenberg 2001, (Hunter et al., 2003)).

1.2.3 Analyse qualitative du risque

Plusieurs méthodes d'analyse qualitative du risque existent. Généralement, ces méthodes sont adaptées et applicables à des domaines très spécifiques. Dans le domaine de l'eau potable, deux approches sont utilisées : le HACCP et les multi-barrières.

La méthode HACCP simplifiée

Une étude réalisée en Afrique du Sud a tenté d'évaluer l'efficacité de la méthode HACCP appliqué aux procédés de traitement dans une usine d'eau potable (Jagals et Jagals, 2004). Les auteurs ont simplifiés les étapes du HACCP pour l'adapter au contexte du traitement de l'eau qui a les particularités suivantes : un large éventail de contaminants qui proviennent souvent de bassins versants à multi-usages, un flot continu d'approvisionnement en eau de la source au robinet, et finalement, un large et complexe réseau de distribution qui transporte l'eau traitée jusqu'aux consommateurs.

Quatre des sept principes du HACCP ont été appliqués dans l'étude sud-africaine:

1. Identifier les contaminants (l'analyse du risque).
2. Sélectionner les points, processus ou procédure critiques de contrôle (PCC).
3. Établir des seuils critiques de performance pour chaque (PCC).
4. Surveiller les PCC avec un outil de mesure efficace.

Les auteurs ont sélectionné quatre PCC : l'eau brute de la ressource, la sédimentation, la filtration et la désinfection au chlore. L'étude conclut que l'application de la méthode HACCP aiderait à minimiser les risques de distribuer de l'eau contaminée lors de défaillances dans les systèmes de traitement de l'usine.

La méthode HACCP et les systèmes d'informations géographiques

En Allemagne dans le comté de Rhein-Berg, un système d'information géographique (SIG) a été conçu pour appliquer les principes du HACCP au système d'approvisionnement en eau potable (Kistemann et al., 2001). Les différentes classes de Points Critiques de Contrôle du SIG sont les prises d'eau, les usines de traitement, les points de désinfection, les réservoirs d'eau potable, les entrées des réseaux de distribution et les puits privés.

Les données d'échantillonnage ainsi que les seuils de performance que doivent respecter les PCC sont aussi intégrés au SIG. Ces informations permettent aux utilisateurs du SIG de surveiller les PCC et d'identifier rapidement les éléments qui ne respectent pas les contraintes de qualité selon des zones spatiales et des intervalles de temps précis.

La méthode STAMP

Développée par l'industrie aérospatiale, la méthode STAMP (Systems-Theoretic Accident Modeling and Processes) propose un changement de paradigme dans le domaine de l'analyse et la gestion du risque. Cette méthode considère que la dynamique causale des incidents doit être perçue comme étant un processus complexe qui se déroule à l'intérieure d'un système technico-social (voir Annexe 7). Ce système inclut les législations, les agences gouvernementales, le personnel de conception et d'opération, etc.

LA méthode STAMP repose sur trois concepts fondamentaux : les contraintes de sécurité, les niveaux de contrôle hiérarchisés et la modélisation des processus de contrôle (Leveson et Dulac, 2005).

Les contraintes de sécurité définissent les relations entre les différents éléments du système de sécurité. Par exemple, le pouvoir électrique doit être fermé lorsque la boîte d'accès à la source de haute-tension est ouverte, ou encore, deux avions en vol doivent maintenir une distance minimale entre eux. **Au lieu de percevoir les incidents comme étant la résultante d'une chaîne d'évènements menant à une perte, les incidents sont plutôt perçus comme la résultante d'une violation de contraintes par les éléments du système de sécurité.**

Les niveaux de contrôle hiérarchisés sont les outils de mesures qui maintiennent les éléments du système à l'intérieur des contraintes de sécurité préétablies. Ainsi, selon la méthode STAMP, l'incident de santé publique de Walkerton causé par une détérioration microbiologique de l'eau potable, est en partie attribué au fait que les rapports des

laboratoires privés, qui testaient la qualité de l'eau, n'étaient pas transmis à l'agence gouvernementale qui pouvait prendre action. L'élimination de ce contrôle rendait la tâche des gestionnaires de l'agence gouvernementale responsable impossible à accomplir.

Finalement, la modélisation des processus de contrôle identifie les éléments-clés du système technico-social et leurs interactions du point de vue de la sécurité. Des modèles dynamiques sont ensuite développés pour analyser le comportement de ce système complexe dans le temps afin d'identifier les failles. Des exemples de modèles statiques et dynamiques se trouvent en Annexe 8 et en Annexe 9.

1.3 Index de vulnérabilité

Le concept d'« index de vulnérabilité » a été utilisé dans plusieurs domaines pour localiser les éléments, les points ou les zones les plus critiques d'un système ou d'un territoire. Ainsi, des index de vulnérabilité ont été développés pour les fondations de ponts (Zayed et al., 2007), les réseaux routiers (Jenelius et al., 2006), les changements climatiques (Sullivan et Meigh, 2005), les déversements chimiques (Bryant et Abkowitz, 2007), etc.

Dans le domaine hydrique, des index de vulnérabilité ont aussi été développés, par exemple : DRASTIC pour l'eau souterraine et WRASTIC pour l'eau de surface.

1.3.1 Construction et limites des index de vulnérabilité

La construction d'un index de vulnérabilité nécessite le pointage d'un ensemble de facteurs. Ces pointages sont ensuite agrégés (additionnés) pour produire une valeur qui caractérise la vulnérabilité de chaque élément, point ou zone d'un système (Bryant et Abkowitz, 2007):

$$\sum_{i=1}^n w_i s_i = \text{index DE VULNÉRABILITÉ},$$

Où s_i est une donnée standardisée et w_i est le poids attribués au facteur f_i .

Les étapes-clés pour la construction d'un index de vulnérabilité sont : la sélection des facteurs, la standardisation des données, l'établissement des poids (l'importance) des facteurs et l'agrégation (Jones et Andrey, 2007).

La sélection des facteurs consiste à choisir les paramètres de l'index. Cette étape est subjective malgré toute tentative sérieuse pour justifier l'inclusion ou l'exclusion de certains facteurs.

La standardisation des données a pour objectif de convertir les variables sur une échelle commune afin d'éviter de mélanger les différentes unités de mesure. Généralement, elle consiste à transformer la valeur des données entre zéro (0) et un (1) pour tous les facteurs de l'index afin que chaque variable ait une importance identique, en utilisant par exemple la méthode du « min max » :

$$s_i = \frac{d_i - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}} \quad (1)$$

Où s_i est la donnée standardisée, d_i est la donnée brute à standardiser, d_{\min} est la valeur minimum du facteur, d_{\max} est la valeur maximale du facteur.

L'établissement du poids consiste à attribuer une importance relative à chaque facteur. Cette étape est aussi subjective. Notre compréhension de l'importance relative de chaque facteur pour un risque donné peut être difficile à évaluer.

L'agrégation consiste à effectuer la somme des pointages ($w_i \times s_i$) afin de déterminer la valeur qui caractérisera la vulnérabilité de chaque élément, point ou zone d'un système.

1.3.2 Exemples d'index de vulnérabilité: DRASTIC et WRASTIC.

WRASTIC est une méthode qui a été développée pour évaluer la vulnérabilité d'un bassin versant à une contamination hydrique basée sur les caractéristiques du bassin versant en question. Il utilise les facteurs suivants : les rejets d'eaux usées, l'impact des usages récréatifs du sol, l'impact des usages agricoles du sol, la taille du bassin versant, les voies de transport, les impacts des usages industriels du sol, et la couverture végétale (Diamantino et al., 2007).

L'index de vulnérabilité DRASTIC, utilisé pour évaluer les risques de contaminations de l'eau souterraine, utilise les facteurs suivants: la profondeur à l'eau (Depth to water), la recharge nette (net Recharge), le media de l'aquifère (Aquifer media), le media du sol (Soil media), l'impact sur la zone non-saturée (Impact to vadose zone) et la conductivité hydraulique (hydraulic conductivity) (Diamantino et al., 2007).

Chapitre 2 MÉTHODOLOGIE

2.1 Contexte

Comme présenté dans le chapitre précédent, plusieurs approches sont possibles pour réaliser un plan de protection de la ressource. Certaines d'entre elles sont complexes à réaliser et leurs implantations peuvent être longues, ardues et coûteuses.

L'approche proposée ci-dessous part du point de vue que la protection de la ressource est une intervention communautaire pour limiter l'impact des facteurs de risque d'origine hydrique sur la santé de la population. De plus, elle présume qu'un organisme public (i.e. agence de bassin versant, Ministère des affaires municipales ou autres) est responsable de superviser la mise en œuvre des plans de protection de la ressource. Pour des fins de clarté, le terme « agence de bassin versant » sera utilisé dans le reste du texte pour identifier cet organisme.

Cette approche proposée s'inspire des méthodes d'analyse et de gestion du risque qualitatives présentées dans le chapitre précédent (HACCP, Multi-barrières et STAMP) :

- Elle utilise le concept de « points critiques de contrôle » (HACCP).
- Les multiples barrières de protection de la ressource doivent être identifiées et caractérisées dans cette approche (Multi-barrières).
- Les incidents sont plutôt perçus comme la résultante d'une violation de contraintes par les éléments du système de protection de la ressource, au lieu d'être la résultante d'une chaîne d'événements menant à une perte (STAMP).

2.2 Description

La méthodologie proposée dans cette étude pour élaborer un plan de protection de la ressource se définit en cinq étapes :

- 1) Délimiter et cartographier la zone d'intervention.
- 2) Créer un comité de protection de la ressource.
- 3) Caractériser les barrières de protection de la ressource.
- 4) Analyser la vulnérabilité des prises d'eau potables.
- 5) Gérer la performance des barrières.

Ces étapes sont décrites ci-dessous.

2.2.1 Délimiter et cartographier la zone d'intervention

L'approche requiert que les pays, provinces ou régions découpent leur territoire en zones d'intervention qui seront gérées par une agence de bassin versant.

La zone d'intervention est le territoire à l'intérieur duquel un système de protection de la ressource sera élaboré par l'agence de bassin versant. Cette zone contient une ressource d'eau potable (i.e. lac ou rivière) ainsi qu'une section de son bassin versant.

La dimension de cette zone doit être limitée pour que les employés de l'agence de bassin versant puissent investiguer et intervenir en parcourant des distances raisonnables (i.e. trois heures de routes). Si la zone est trop vaste, les investigations et les interventions seront inefficaces. La densité du territoire (i.e. région agricole versus région urbaine) doit aussi être prise en compte pour définir le découpage d'une zone : plus l'occupation du territoire est dense, plus le travail de protection de la ressource est complexe.

Un schéma géo-référencé d'écoulement qui localise les cours d'eau, les prises d'eau potable et les points d'entrées/sorties hydrologiques de la zone d'intervention doit être tracé.

2.2.2 Créer un comité de protection de la ressource

L'agence de bassin versant a comme première tâche de créer un comité de protection de la ressource constitué des parties prenantes localisés à l'intérieure de la zone d'intervention (i.e. municipalités, regroupements agricoles, regroupements industriels, exploitants de barrage, etc.).

Ce comité permettra à l'agence du bassin versant :

- d'obtenir des informations essentielles sur les risques et barrières de la ressource,
- de transmettre aux parties prenantes ses travaux d'analyse et de gestion du risque,
- et de réaliser une concertation entre les parties prenantes de la zone d'intervention pour réduire les risques de contaminations de la ressource d'eau potable.

2.2.3 Caractériser les barrières de la ressource

Contrairement à l'approche néo-zélandaise présentée au Chapitre 1, l'approche proposée ne se concentre pas sur les événements critiques qui sont trop nombreux et aléatoires pour être gérés. Elle se concentre surtout sur les éléments géographiques du système de protection de la ressource. Elle vise à établir et maintenir des contraintes de sécurité entre ces éléments du système (i.e. distance minimale entre une prise d'eau et une surverse municipale).

Les barrières de protection de la ressource

Les barrières de protection de la ressource peuvent être :

- Physiques : usines d'épuration d'eaux usées, réservoirs de produits chimiques, réseaux d'égout, barrage, dilution, etc.

- Virtuelles : plans industriels de prévention de la pollution, programmes de surveillances gouvernementales, programmes d'éducation environnementale pour agriculteurs, etc.

Il est souvent plus facile de commencer par identifier et localiser les barrières de protection de la ressource existantes que les facteurs de risques. La plupart des barrières sont gérées par des organismes (i.e. municipalité) qui peuvent fournir des informations spécifiques sur la structure de leurs barrières respectives et les aléas qu'elles préviennent.

Les points de déficience des barrières

Les points de déficience sont définis comme étant des éléments géographiques qui sont soumis aux contraintes de sécurité d'une barrière, comme par exemple, les trop-pleins d'un réseau d'égouts, les réservoirs chimiques à l'intérieure d'une zone-tampon, les exploitations agricoles qui n'ont pas un plan de prévention de la pollution.

Ces points de déficiences représentent des aléas (risques en amont) pour les prises d'eau potable et peuvent être caractérisés comme représentant un risque:

- microbiologique;
- chimique;
- de toxines algales;
- de turbidité;
- ou hydrologique (i.e. manque d'eau).

Le schéma d'écoulement

Les barrières et les points de déficience doivent être localisées sur un schéma d'écoulement géo-référencé. À titre d'illustration, la Figure 9 donne l'exemple d'un

schéma d'écoulement qui n'est pas géo-référencé. Dans le Chapitre 3 de ce mémoire se trouvent des exemples de schéma d'écoulement qui sont géo-référencés.

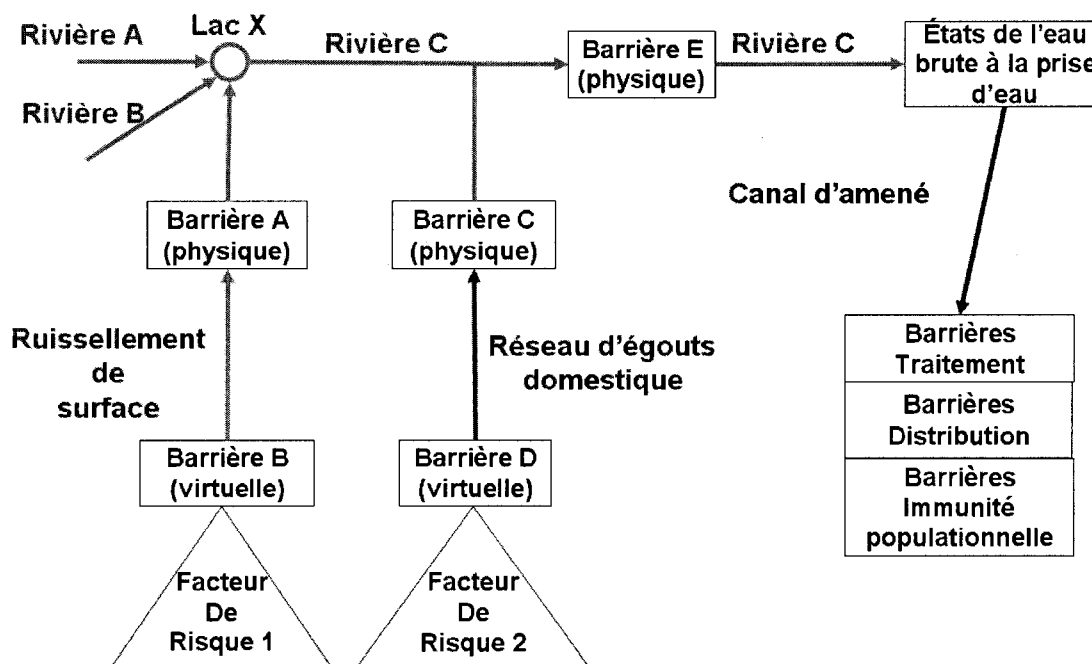


Figure 9: Exemple d'un réseau d'écoulement schématique non-géoréférencé

2.2.4 Analyser la vulnérabilité des prises d'eau (face aux points de déficiences des barrières).

L'analyse de vulnérabilité sert à évaluer l'adéquation (la concordance) entre un point de déficience et les contraintes de sécurité qui lui sont imposées.

Pour réaliser une analyse de la vulnérabilité d'une prise d'eau potable face à la déficience d'une barrière, trois étapes sont requises :

- 1) Créer un index de vulnérabilité.
- 2) Calculer la valeur de l'index pour les points de déficiences.

3) Identifier les points critiques.

Les index de vulnérabilité visent à identifier les points critiques parmi les points de déficiences dans le but de valider l'adéquation des contraintes existantes ou de définir de nouvelles contraintes. Cet outil permet de relativiser le risque que représentent les différents points de déficience d'une même barrière (i.e. les trop-pleins d'un réseau d'égouts) pour une cible bien identifiée (une prise d'eau).

Tel que discuté dans la section 1.3, un index ne donne pas une valeur absolue mais une valeur relative. Les facteurs et leurs poids respectifs choisis pour construire l'index sont subjectifs.

Pour calculer un index de vulnérabilité, il faut :

- Une barrière.
- Les points de déficiences de cette barrière.
- Une cible (i.e. une prise d'eau définie).

La cible peut être une des prises d'eau ou encore un des points de sorties hydrologiques de la zone d'intervention. Les index servent à identifier les points de déficience sur lesquels il est plus urgent d'investiguer, ils sont appelés: les points critiques.

2.2.5 Gérer la performance des barrières

La gestion des barrières de protection de la ressource consiste à :

- clairement identifier les contraintes imposées aux points de déficiences (i.e. distance minimale entre une surverse et une prise d'eau),
- surveiller le respect de ces contraintes,

- intervenir lorsque les contraintes sont violées en améliorant les barrières existantes ou ajoutant de nouvelles barrières.

Lorsque plusieurs points de déficiences ne respectent pas une contrainte de sécurité, alors des points d'intervention prioritaires doivent être sélectionnés à l'aide d'un index de risque. Un index de risque se construit de la même façon qu'un index de vulnérabilité. Par contre, il est impératif qu'au moins un des facteurs de l'index de risque évalue le degré de violation d'une contrainte de sécurité.

2.3 Outils

Pour construire un système de protection de la ressource dans les zones d'intervention rurales contenant peu d'éléments géographiques, une carte géo-référencée papier (pour localiser les barrières et les aléas) et un chiffrier (i.e. Excel) peuvent être suffisants comme outil de travail.

Par contre, dans les zones d'interventions urbaines, un système d'information géographique (SIG) est essentiel. Cet outil permet l'intégration des données spatiales et environnementales. La zone d'intervention, les prises d'eau, le réseau d'écoulement, les aléas, les barrières, les points de déficience, les points critiques et les points d'intervention prioritaire peuvent être visualisés sur une même carte. La navigation spatiale entre ces différents éléments permet de comprendre et d'analyser les interdépendances.

Les données pour le calcul des index de vulnérabilité peuvent aussi être intégrées au système. Une symbolique (i.e. dimension de cercle) peut être définie pour représenter visuellement la valeur des index sur la carte.

Le logiciel SIG utilisé est ArcGIS avec une licence ArcInfo. Ce logiciel est composé de deux modules : ArcCatalog et ArcMap. Le module ArcCatalog permet de gérer les bases de données géographiques et de redéfinir les systèmes de coordonnées et de projection.

Le module ArcMap permet d'assembler et d'afficher les différentes bases de données géographiques pour former une carte géo-référencée.

Les bases de données géographiques contiennent deux types d'information : l'information spatiale et l'information attributaire. Les données spatiales représentent des objets géographiques associés avec leur localisation dans le monde réel. Les objets géographiques sont représentés sur les cartes par des points, des lignes et des polygones. Les données attributaires décrivent des propriétés particulières des objets géographiques, telles que le diamètre d'une conduite, la longueur d'une rivière, le nom d'une prise d'eau, etc.

Un système d'information géographique relie les données spatiales et attributaires pour effectuer diverses opérations telles que :

- L'affichage cartographique d'objets géographiques et de leur description.
- L'interrogation de bases de données géographiques.
- L'analyse géographique.

Plusieurs exemples du Chapitre 3 illustrent l'utilisation de cet outil de visualisation pour analyser un système de protection de la ressource.

2.4 Données

Plusieurs sources d'informations pour des données géo-référencées sont disponibles. Pour l'étude de cas présenté au Chapitre 3, les données proviennent des sources suivantes :

- Ministère des ressources naturelles du Canada : bassin versant et cours d'eau.
- Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs : stations d'épuration des eaux usées et prises d'eau potable.

- La ville de Montréal : réseau d'égouts.
- La ville de Laval : réseau d'égouts.
- Le Ministère des Affaires municipales et des Régions : données sur le « suivi des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux » (SOMAE).

Un prétraitement a été nécessaire pour intégrer sur un même système d'informations géographiques les données qui proviennent de différentes sources. Des outils de prétraitement sont disponibles dans les logiciels SIG pour corriger les incompatibilités entre les différents systèmes de références et de projections géographiques.

2.5 Limites

2.5.1 Définition des seuils aux points d'entrées et de sorties hydrologiques des zones d'intervention

L'approche proposée divise les bassins versants en un chapelet de zones d'intervention. Par contre, le système de protection de la ressource proposée plus haut ne tient pas compte des interdépendances entre ces zones : les points de sortie hydrologique d'une zone d'intervention sont les points d'entrée hydrologiques de la zone d'intervention en aval. Donc, la qualité de l'eau des zones en amont ont un impact direct sur la qualité de l'eau des zones en aval.

Afin d'améliorer le système de protection de la ressource proposée, des contraintes de sécurité pour la qualité et la quantité hydrique devraient être fixées aux points de sorties des zones d'intervention. Ces contraintes permettraient aux agences de bassins versants de connaître:

- les objectifs de qualité et de quantité à leurs points de sorties hydrologiques.
- les engagements de qualité et de quantité à leurs points d'entrées hydrologiques.

Ces contraintes devraient être fixées par l'organisme qui supervise et coordonne les agences de bassins versants (i.e. Ministère des Affaires municipales et des Régions ou le Ministère du développement durable, de l'environnement et des Parcs).

2.5.2 Calcul des index de vulnérabilité et des index de risque

Comme discuté à la Section 1.3, bien que les index soient utilisés les données disponibles, leurs constructions se basent sur des choix subjectifs. Leur utilisation doit être entreprise avec prudence et jugement. Des investigations plus approfondies doivent être effectuées avant de prendre une décision d'intervention.

2.5.3 Accès aux données

Les données géographiques et environnementales sont essentielles pour la construction d'un système de protection de la ressource. L'accès à ces données peut être ardu. Pour simplifier le travail des agences de bassins versants, il serait souhaitable qu'une loi oblige toute personne (au sens légal), à fournir sur demande les informations qui concernent la qualité de l'eau. En Ontario, une telle loi a été votée.

2.6 Développements futurs

2.6.1 Intégration à ArcHydro®

Un consortium d'universités américaines a développé un outil SIG, baptisé ArcHydro® (version 1.2), pour la gestion des bassins versants. Cet outil est disponible gratuitement sur plusieurs sites « web » universitaires. La structure de la base de données de cet outil facilite l'analyse et la gestion d'information hydrologique. Les éléments tels que les bassins versants, les prises d'eau, les lacs, les rivières, les points d'échantillonnage, les barrages, les profils des lits de rivières et les données environnementales peuvent être intégrés dans la base de données SIG d'ArcHydro. L'outil permet de faire des analyses d'écoulement et de séries temporelles.

Par contre, ArcHydro ne possède pas d'éléments pour l'analyse et la gestion du risque, l'approche proposée plus haut pourrait être intégrée à l'outil ArcHydro pour compléter cette carence.

2.6.2 Modélisations environnementales

Des outils de modélisations déterministes et stochastiques seraient utiles pour déterminer les relations causales ou empiriques entre des sources de contaminations, par exemple un trop-plein, et la qualité de l'eau à une prise d'eau.

Par contre, les modèles déterministes demandent des informations géographiques détaillées et précises qui peuvent être difficiles à obtenir, telles que le positionnement exact de la sortie des surverses, le profil des lits de rivières, le temps et les conditions dégradations des contaminants, etc.

Pour ce qui est des modèles stochastiques, ils requièrent des informations d'échantillonnage détaillées et précises qui peuvent aussi être difficiles à obtenir. Par exemple, les déversements de plusieurs trop-pleins ne sont recensés qu'une fois par mois. Donc, la ou les dates exactes du ou des déversements sont souvent inconnues. Dans ces conditions d'échantillonnages, les relations empiriques entre les déversements et la qualité de l'eau brute peuvent être difficiles à établir.

Les index de vulnérabilité peuvent aider à identifier les éléments pour lesquelles l'acquisition d'informations précises est essentielle pour le modèle. Étant donné que le temps et les coûts à investir peuvent être importants pour la collecte des données, les index pourraient s'avérer un outil très utile pour la modélisation stochastique ou déterministe.

2.6.3 Acquisition et traitement des données en temps réel

L'outil SIG développé dans le cadre de cette maîtrise peut être configuré pour recevoir et traiter des données d'échantillonnage en temps réel. Des modules d'échanges de

données sont déjà intégrés aux logiciels SIG commerciaux. Un lien de télécommunication (cellulaire, téléphonique, VHF) doit être établi entre les senseurs et le SIG. Des bouées télémétriques équipées de senseurs chimiques, microbiologiques et physiques (température et turbidité) existent déjà sur le marché. Le positionnement de telles bouées sur les points d'entrées et de sorties hydrologiques des zones d'interventions permettraient un meilleur contrôle des contraintes fixées.

Chapitre 3 ÉTUDE DE CAS

3.1 Contexte

Afin de valider l'approche de protection des ressources d'eau potable proposée au chapitre 2, une étude de cas a été réalisée sur une rivière localisée entre l'île de Montréal et de Laval, au Québec. Cette rivière se nomme « rivière des Prairies ». Elle est la ressource pour trois prises d'eau potable : Chomedey, Pont-Viau et Pierrefonds.

Toutefois, étant donné le **caractère académique de l'étude**, certaines étapes de l'approche n'ont pu être réalisées :

- Étape 2 : aucun comité de protection de la ressource n'a été créé.
- Étape 3 : les barrières de protection caractérisées se limitent aux réseaux d'égouts des villes de Laval et de Montréal.

La liste suivante résume la concordance entre l'étude de cas et l'approche proposée au chapitre 2:

- 1) Délimiter et cartographier la zone d'intervention. **Complétée.**
- 2) Créer un comité de protection de la ressource. **Ignorée.**
- 3) Caractériser les barrières de protection de la ressource. **Partiellement complétée** (aléas et barrières microbiologiques).
- 4) Analyser la vulnérabilité des prises d'eau potable. **Complétée.**
- 5) Gérer la performance des barrières. **Partiellement complétée** (surveillance de la contrainte « nombre maximum de débordements des trop-pleins » imposée par le MDDEP aux réseaux d'égouts de Montréal et de Laval).

3.2 Délimitation de la zone d'intervention : Rivière des Prairies

La rivière des Prairies est située entre l'île de Montréal et l'île de Laval (voir Figure 10).

Trois prises d'eau potable sont localisées sur cette rivière :

- La prise d'eau de l'usine de Pierrefonds (Ville de Montréal).
- La prise d'eau de l'usine de Chomedey (Ville de Laval).
- La prise d'eau de l'usine de Pont-Viau (Ville de Laval).

Les deux points d'entrées hydrologiques de cette ressource sont placés au nord et au sud de l'île Bizard juste en aval du lac Des-Deux-Montagnes. Le point de sortie hydrologique est placé à l'extrémité nord-est de l'île de Laval.

Étant donné que cette étude de cas va se limiter à la barrière « réseau d'égouts », un découpage des bassins d'égouts sur l'île de Montréal et de Laval est indiqué sur la carte de la Figure 10.

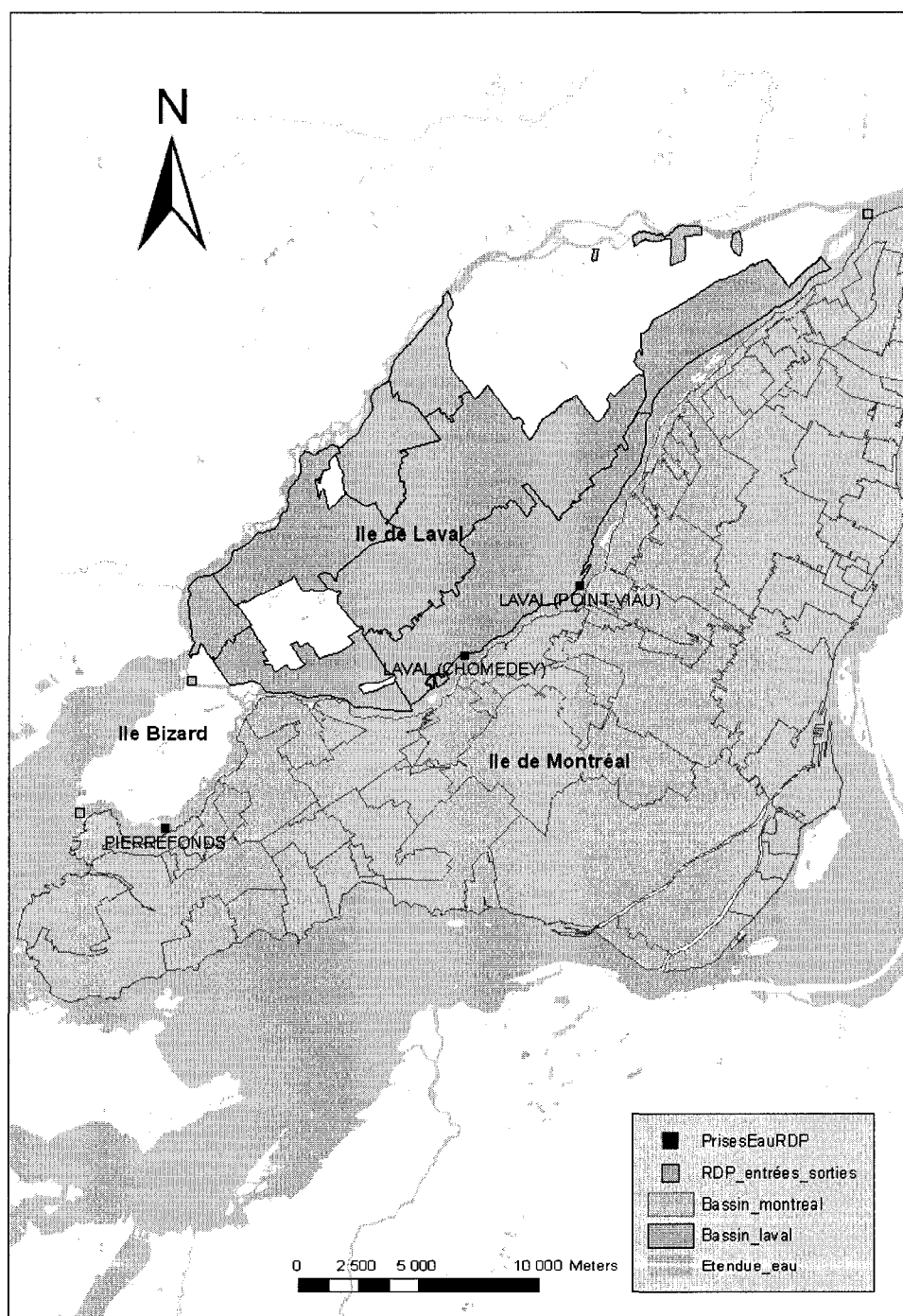


Figure 10: Délimitation de la zone d'intervention : rivière des Prairies

3.3 Caractérisation des barrières

3.3.1 Identification des barrières

Tel que discuté au début de ce chapitre, l'étude de cas se limite aux barrières « réseaux d'égouts » des villes de Montréal et de Laval. Ces réseaux d'égouts contiennent les eaux usées municipales et industrielles. Ils les acheminent vers les stations d'épuration de Montréal et de Laval identifiées par les carrés noirs sur la Figure 11.

La structure d'un réseau d'égouts est arborescente:

- Les intercepteurs se déversent à la station d'épuration des eaux usées.
- Les collecteurs se jettent dans les intercepteurs.
- Les conduites tertiaires se jettent dans les collecteurs.

Le réseau tertiaire n'est pas représenté sur la Figure 11. Les surverses sont les conduites qui amènent l'eau des trop-pleins vers la rivière. Elles sont représentées par les lignes jaunes sur les cartes. L'écoulement de la rivière des Prairies est défini par une « ligne courant » qui est tracée au centre de cette rivière.

Dans le système SIG, une relation spatiale de connectivité a été définie entre les intercepteurs, les collecteurs, les surverses et la ligne courant de la rivière pour former le réseau d'écoulement représenté à la Figure 11. Ce réseau d'écoulement utilise un type modélisation prédéfinie dans le logiciel ArcGIS qui se nomme « réseau géométrique » (geometric network). Un réseau géométrique tel que défini par ArcGIS est constitué de « lignes » et de « jonction ». Les « lignes » dans notre étude sont les intercepteurs, les collecteurs, les surverses et la ligne courant de la rivière. Les jonctions sont les points d'intersections des lignes ainsi que les points d'intersection entre les lignes et d'autres objets qui font partis du réseau tels que les trop-pleins, les prises d'eau, les points entrées et sorties hydrologiques.

Étant donné que la localisation exacte des points de sortie des surverses n'a pu être trouvée du à un manque de documentation sur ces infrastructures, les surverses ont été directement connectées à la « ligne de courant » qui passe au centre de la rivière des Prairies pour compléter l'architecture du réseau d'écoulement.

Plusieurs types d'analyses spatiales peuvent être réalisés à partir du réseau d'écoulement bâti sur le modèle « réseau géométrique » d'ArcGIS (i.e. retracer tous les trop-pleins en amont de la prise d'eau de Chomedey).

3.3.2 Identification des points de déficience

Les trop-pleins font partis intégrantes des réseaux d'égouts et acheminent les surplus d'eaux usées directement dans la rivière lorsque les débits d'écoulement dépassent la capacité volumique des conduites. Généralement, ces événements se produisent lors de fortes averses ou de fontes des neiges. Les trop-pleins ont été identifiés et localisés sur le réseau d'écoulement manuellement. Autrement dit, chaque trop-plein a été préalablement identifié sur des cartes de référence fournie par les villes de Montréal et de Laval, pour être ensuite placé de manière approximative sur le réseau d'écoulement. La marge d'erreur estimée est de 50 mètres.

Les trop-pleins des réseaux d'égouts de Montréal et de Laval sont identifiés sur la Figure 12. Seuls les trop-pleins qui se déversent dans la rivière des Prairies sont indiqués. Les trop-pleins sont des points de déficience qui représentent pour les prises d'eau un risque microbiologique, chimique et de « turbidité ».

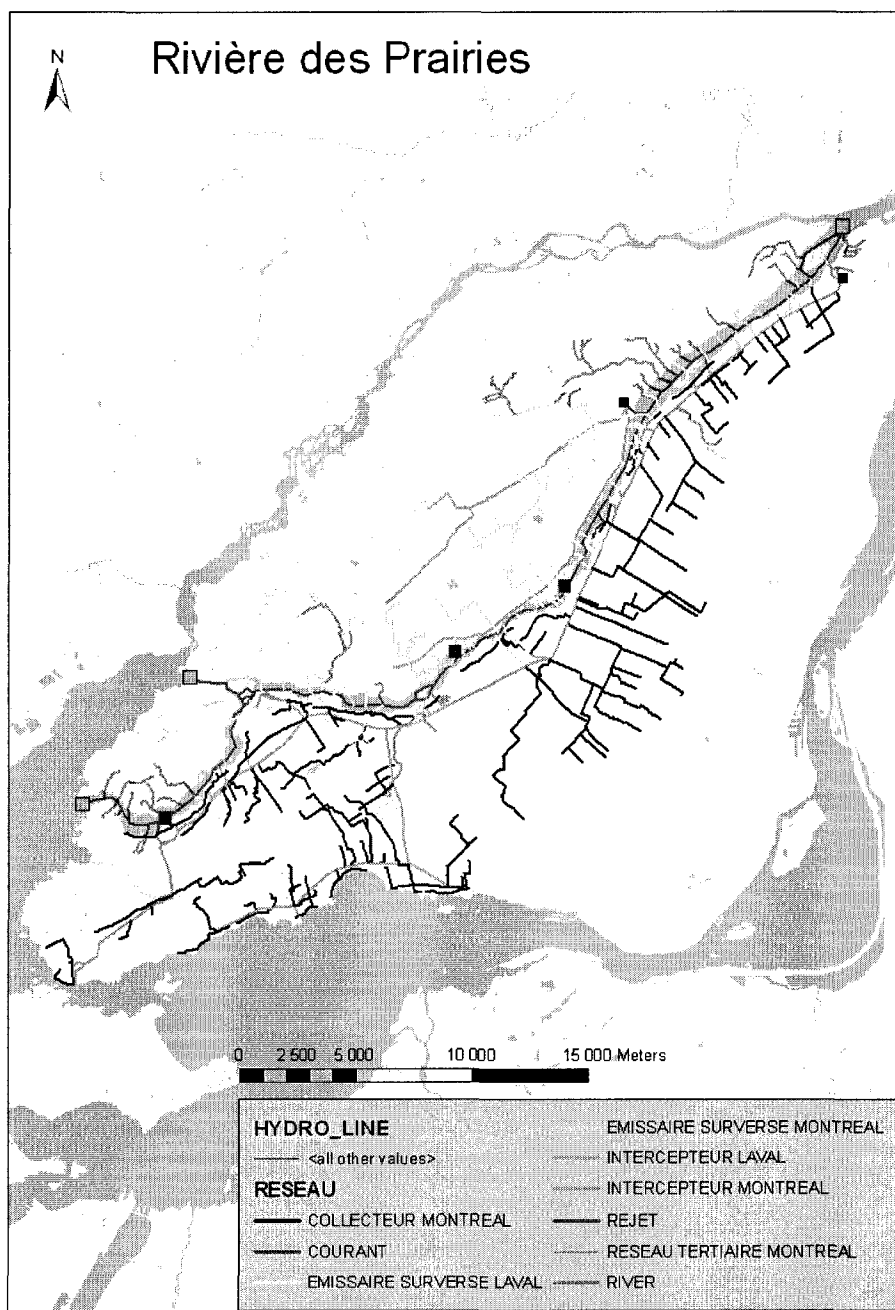


Figure 11: Schéma d'écoulement (réseaux d'égouts et rivières sur les îles de Montréal, Laval et Bizard).

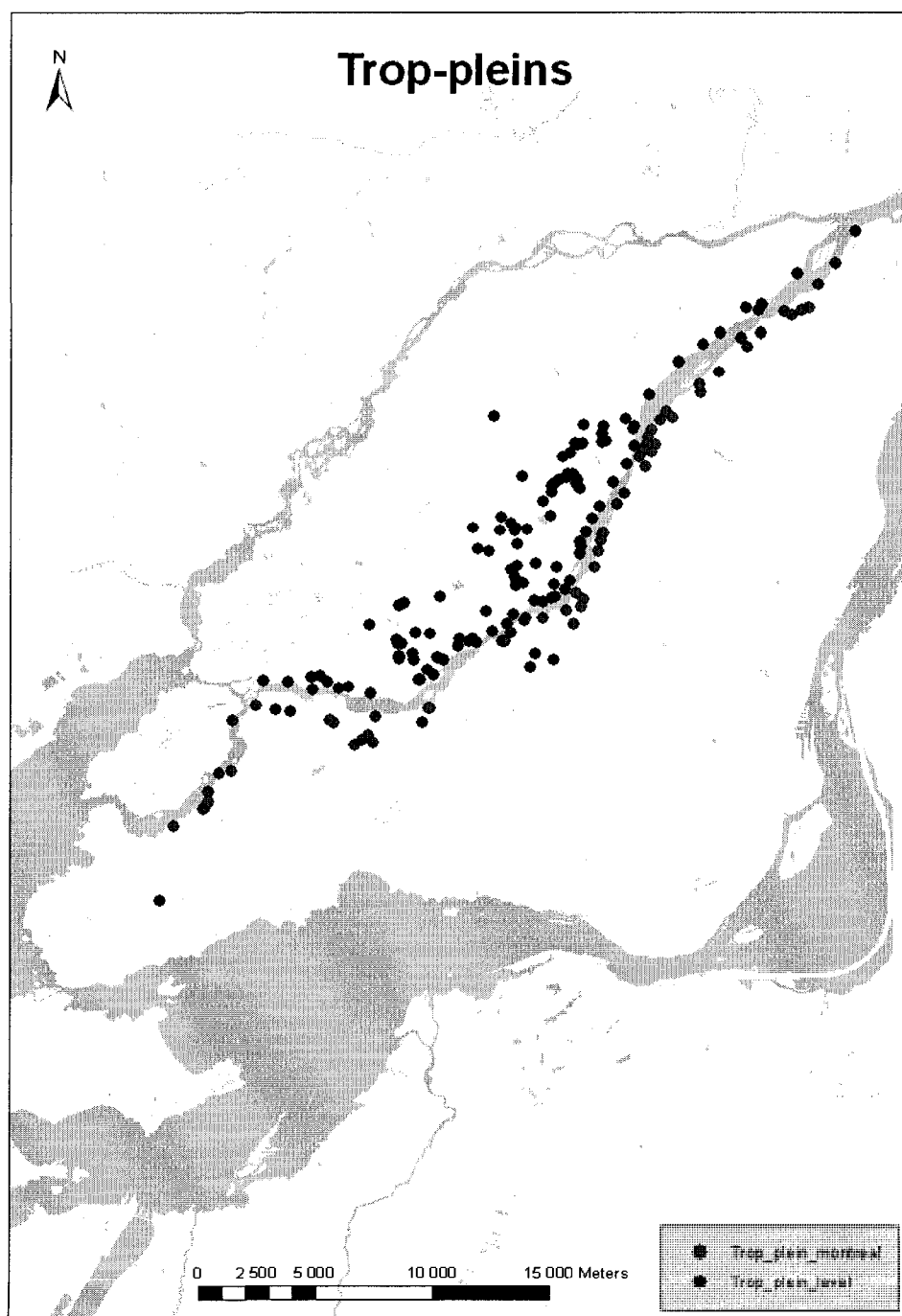


Figure 12: Localisation des points de déficiences : trop-pleins qui se déversent dans la rivière des Prairies à partir des réseaux d'égouts de Montréal et de Laval.

3.4 Analyse de la vulnérabilité des prises d'eau face aux points de déficiences de la barrière « réseau d'égouts »

3.4.1 Information sur les trop-pleins

Les informations collectées sur les trop-pleins dans le cadre de cette étude sont :

- Le diamètre du trop-plein.
- La distance entre le point de sortie de la surverse du trop-plein et les prises d'eau potable.
- Le nombre de déversements annuels pour les années 2004, 2005, 2006, et 2007.
- Le nombre de déversements qui dépassent les exigences environnementales fixées par le Ministère des affaires municipales et des régions (MAMR) et le Ministère du développement durable, de l'environnement et des Parcs (MDDEP).

Les diamètres des trop-pleins ont été obtenus à partir des données fournies par les villes de Montréal et de Laval. Les distances entre le point de sortie de la surverse des trop-pleins et les prises d'eau potable ont été mesurées sur les cartes géo-référencées du SIG. Les nombres de déversement et de dépassement des exigences environnementales ont été obtenus à partir de la base de données SOMAE accessible via Internet et maintenue par le MAMR.

Les exigences environnementales établissent une contrainte pour le « nombre maximal de déversements annuels » des trop-pleins sur une période donnée, généralement située entre le 15 mai et le 15 octobre. Bien que cette contrainte ne soit pas établie spécifiquement et uniquement pour la qualité de l'eau brute aux prises d'eau potable, son respect amène un certain degré de protection de la ressource. Cette contrainte est un

facteur pour le calcul de l'index de risque utilisé plus loin dans le texte dans la Section 3.5 (Gestion de la performance des barrières).

Les tableaux 6 et 7 donnent des exemples de données sur quelques trop-pleins de la ville de Laval.

Tableau 6 : Exemple des diamètres et des distances des trop-pleins des prises d'eau.

Nom *	DIAMETRE	DistanceChomedey	DistancePontViau
L140 POSTE DES ÎLES	300	473	6293
L141 POSTE DE L'ÉLYSÉE	450	473	6293
L143 DU TREMBLAY	205	473	6293
L144 POSTE DES BOCAGES	255	473	6293
L145 TP POMPÉ POSTE HAIFA/SHORECREST	305	473	6293
L147 NORMANDIE	305	473	6293
L148 9eRUE/100e AVE	305	473	6293
L149 4e RUE	760	473	6293
L150 DICKENS	305	473	6293
L151 CHÂTELAIN/ DU SABLON	305	473	6293
L152 CLARENDON/ DU SABLON	255	473	6293
L153 POSTE MONTREUIL	250	5000	10820
L154 FABERT/LAJEUNESSE	305	5525	11345
L155 POSTE DE LA CAPRICIEUSE	200	6585	12405

Tableau 7 : Exemple du nombre de débordements, des exigences environnementales et du nombre de dépassements des exigences sur une période donnée pour des trop-pleins durant l'année 2006.

Nom *	Debord2006	Exigence2006	Depass2006
L140 POSTE DES ÎLES	1	0	<Null>
L141 POSTE DE L'ÉLYSÉE	45	15	12
L143 DU TREMBLAY	16	0	<Null>
L144 POSTE DES BOCAGES	0	0	0
L145 TP POMPÉ POSTE HAIFA/SHORECREST	5	0	<Null>
L147 NORMANDIE	6	4	0
L148 9eRUE/100e AVE	24	0	<Null>
L149 4e RUE	13	0	<Null>
L150 DICKENS	17	0	<Null>
L151 CHÂTELAINE/DU SABLON	28	0	<Null>
L152 CLARENDON/DU SABLON	1	0	0
L153 POSTE MONTREUIL	2	0	<Null>
L154 FABERT/LAJEUNESSE	8	5	2
L155 POSTE DE LA CAPRICIEUSE	5	1	0

3.4.2 La création des index de vulnérabilité

Les index de vulnérabilité serviront à déterminer les points les plus critiques parmi tous les points de défaillance afin de prioriser les investigations et de vérifier l'adéquation des contraintes de sécurité.

Tel que décrit dans le Chapitre 2 (Méthodologie), pour calculer un index de vulnérabilité, il faut :

- Une barrière : le réseau d'égouts de Montréal ou de Laval.
- Ses points de déficience de cette barrière : les trop-pleins.
- Les cibles : la prise d'eau potable de Chomedey ou Pont-Viau.

L'usine de Pierrefonds est sous l'influence d'un seul trop-plein, le 3560(1D) qui a un diamètre de 0,6 mètre, et du point d'entrée hydrologique au sud de l'île Bizard (voir figure 13). Par conséquent, aucun index de vulnérabilité ne peut être calculé pour cette prise d'eau. Le respect des engagements qualitatifs à ce point d'entrée hydrologique par la zone d'intervention, qui se trouve immédiatement en amont de la rivière des Prairies, sera déterminant sur la qualité de l'eau brute à la prise d'eau de Pierrefonds.

De plus, la proximité (une centaine de mètres) de la surverse du trop-plein 3560(1D) à la prise d'eau de Pierrefonds, peut être problématique si la vitesse du courant diminue en dessous d'un certain seuil. Par conséquent, une vitesse minimum du courant ou la vitesse et la direction du vent pourraient être une contrainte de sécurité pour cette prise d'eau.

Tel que mentionné plus haut, le point de sortie des surverses ne peut pas être précisément localisé du à un manque de documentation sur ces infrastructures.

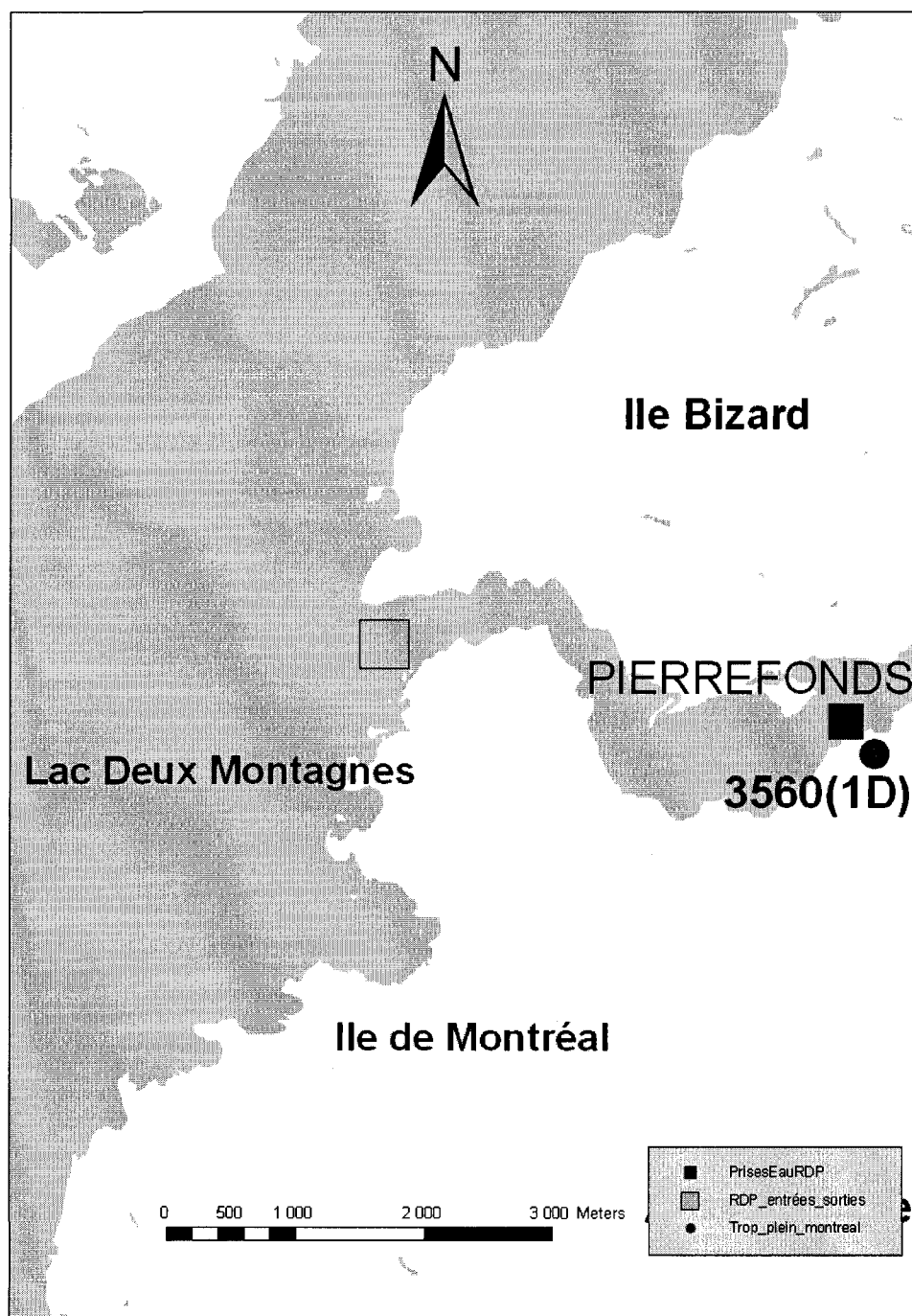


Figure 13 : Localisation de la prise d'eau de l'usine de Pierrefonds et le trop-plein 3560(1D).

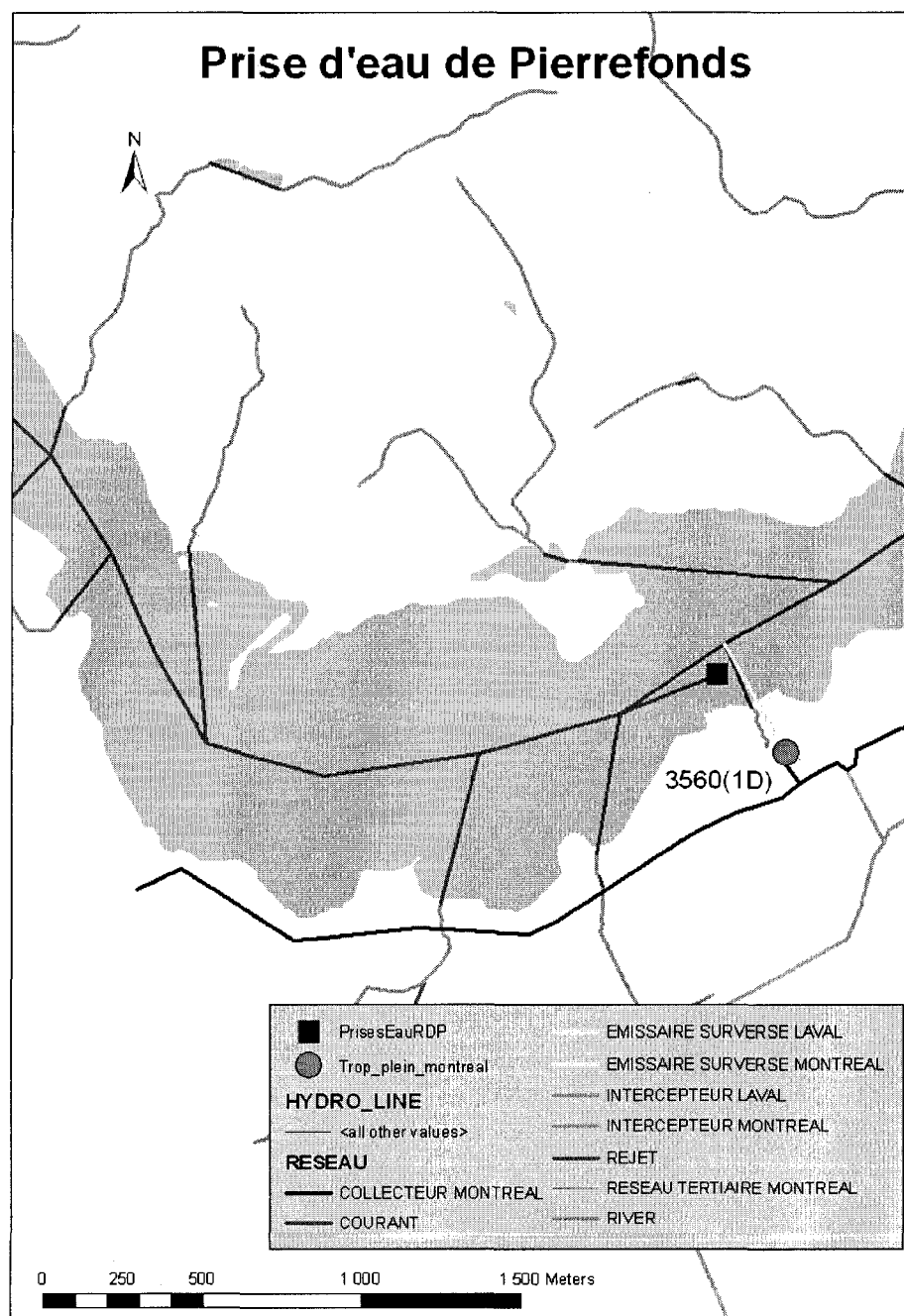


Figure 14: La prise d'eau de Pierrefonds et le trop-plein 3560(1D), (Zoom-in) avec un tracé du réseau d'écoulement.

Pour les prises d'eau de Chomedey et de Pont-Viau, plusieurs index de vulnérabilité ont été créés dans le cadre de cette étude. Ces index utilisent différents facteurs et différentes méthodes de calcul qui sont expliquées et comparées dans les deux prochaines sections. Les index donnent des valeurs relatives et non des valeurs absolues.

Index de vulnérabilité additif

L'index de vulnérabilité additif reprend les principes classiques de la construction d'index décrits dans le premier chapitre (revue générale). Les étapes-clés pour la construction d'un index de vulnérabilité sont : la sélection des facteurs, la standardisation des données, l'établissement des poids (l'importance) des facteurs et l'agrégation.

Les facteurs

Trois facteurs sont utilisés dans le calcul de cet index :

- Le diamètre du trop-plein;
- La distance entre le point de sortie de la surverse du trop-plein et les prises d'eau potable;
- La somme de déversements annuels pour les années 2004, 2005, 2006, et 2007.

La standardisation des données

Pour standardiser les données (voir section 1.3), la formule suivante a été utilisée:

$$s_i = \frac{d_i - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}}$$

Où s_i est la donnée standardisée, d_i est la donnée brute à standardiser, d_{min} est la valeur minimum du facteur, d_{max} est la valeur maximale du facteur.

Les poids (l'importance)

Un poids équivalent a été attribué à tous les facteurs de cet index car il était difficile de juger et de justifier l'importance d'un facteur par rapport à l'autre. La pondération des poids serait à considérer pour améliorer cet index.

L'agrégation

Les valeurs des index pour tous les trop-pleins de Laval et de Montréal ont été calculées à l'aide du chiffrier Excel® puis exportées dans le chiffrier du logiciel SIG (qui ne possède pas les fonctions nécessaires pour manipuler facilement les formules mathématiques).

L'index a été calculé en appliquant la formule suivante (voir section 1.3) :

$$\sum_{i=1}^n w_i s_i = index$$

Où s_i est la donnée standardisée d'un des trois facteurs et w_i est le poids attribués au facteur f_i (qui est dans notre cas égal pour tous les facteurs).

Classification

Pour présenter les résultats du calcul de cet index sur une carte, la méthode de classification « Jenks Natural Breaks » a été utilisée. Cette méthode de classification est déjà intégrée au logiciel SIG ArcGIS. Pour classer les données, la méthode « Jenks Natural Breaks » applique un algorithme, qui établit les classes de valeurs d'un groupe de données, en comparant la somme du carré des différences entre les valeurs et la moyenne de leur classe. La meilleure classification minimise à l'intérieur des classes la

somme du carré des différences. Une explication plus détaillée de cette méthode de classification se trouve à l'Annexe 10 de ce document.

Les index de vulnérabilité ont été calculés pour les prises d'eau de Chomedey et de Pont-Viau et les résultats de la classification des index sont présentés à la Figure 15 et la Figure 16.

Tel que défini précédemment, les trop-pleins sont les points de déficience de la barrière « réseau d'égouts ». Les index de vulnérabilité servent à sélectionner parmi les points de déficience, ceux qui sont les plus critiques dans le but de prioriser les investigations et vérifier si les contraintes de sécurité sont adéquates. Les résultats présentés aux figures 15 et 16 ne permettent pas de réaliser cette sélection car l'index de vulnérabilité additif indique trop de points critiques. La démarcation des criticités relatives entre les différents trop-pleins n'est pas assez claire.

Index de vulnérabilité multiplicatif

Afin de réduire le nombre de points critiques, un autre index a été utilisé. Cet index n'est pas construit selon la méthode classique décrite à la Section 1.3. Des facteurs sont définis mais aucun poids n'est appliqué. Plutôt, des fonctions mathématiques ont été appliquées aux facteurs pour mieux tenir compte de la réalité physique de la barrière. Par contre, les facteurs utilisés pour la construction de cet index sont les mêmes que ceux de l'index précédent : diamètre du trop-plein, distance de la prise d'eau et somme des débordements de 2004 à 2007.

La formule utilisée pour calculer l'index de vulnérabilité multiplicatif diamètre-distance-débordements est la suivante :

$$Index = \frac{(Dia)^2}{\ln(Dist)} \times \sum_{2004}^{2007} (débordements_annuels)$$

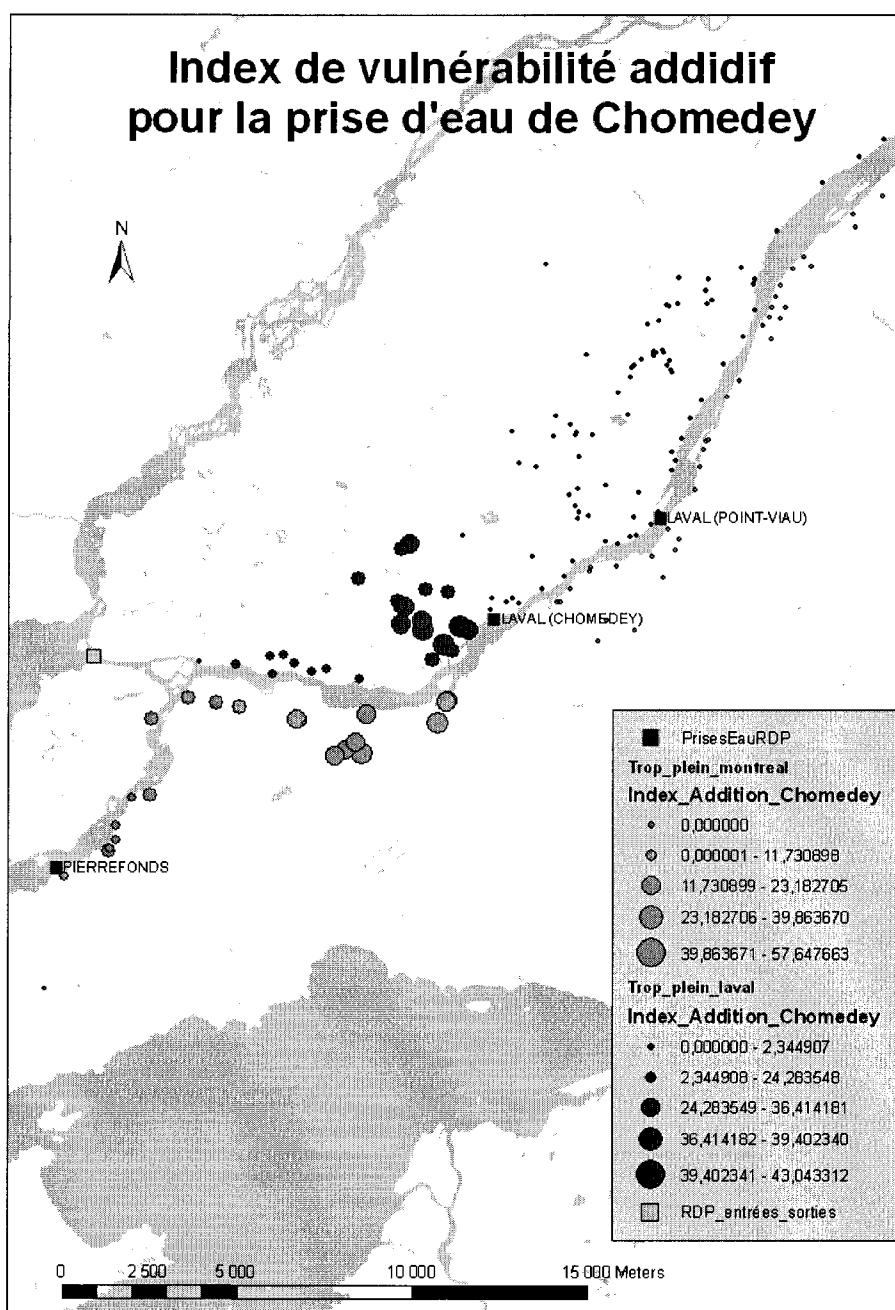


Figure 15: Classification des index de vulnérabilité additifs des trop-pleins de Laval et de Montréal pour la prise d'eau de Chomedey.

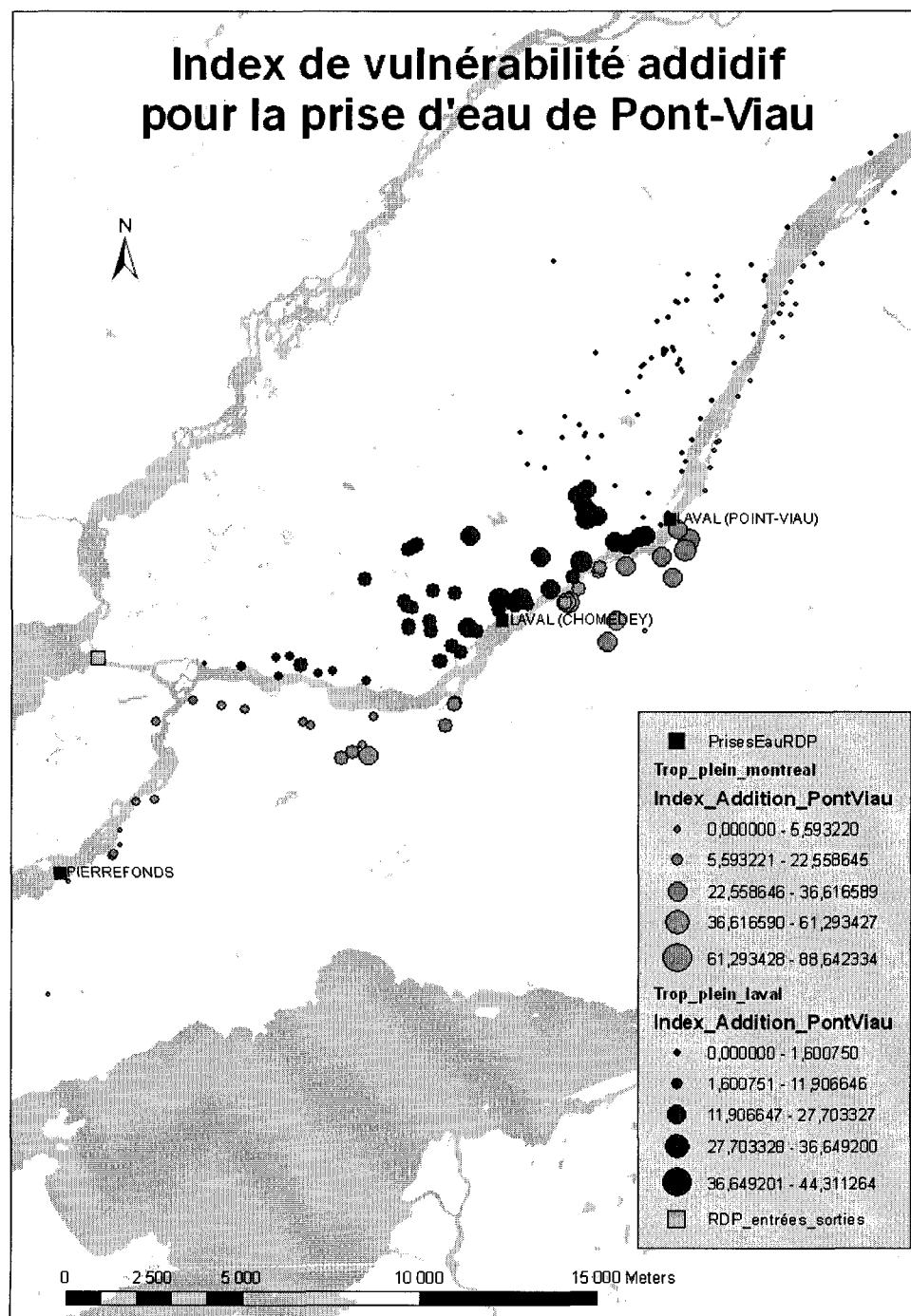


Figure 16: Classification des index de vulnérabilité additifs des trop-pleins de Laval et de Montréal pour la prise d'eau de Pont-Viau.

L'index multiplicatif diamètre-distance-débordements multiplie les facteurs au lieu de les additionner. En appliquant la fonction logarithmique au dénominateur pour le facteur « distance », une surverse située à proximité de la prise d'eau aura plus d'importance qu'une surverse située loin. De plus, en gardant toutes proportions égales, la différence d'importances entre deux surverses localisées à 50 mètres et 500 mètres de la prise d'eau est beaucoup plus grande que la différence d'importances entre deux surverses localisées à 3050 et 3500 mètres de la prise d'eau.

Le diamètre est mis au carré car ce facteur est proportionnel à l'aire du trop-plein. Le troisième facteur est la somme des débordements pour les années 2004 à 2007. Les Figure 17, Figure 18, Figure 19 et Figure 20 présentent les résultats du calcul de cet index.

Identification des points critiques

Les points critiques parmi les trop-pleins qui sont identifiés par l'index multiplicatif diamètre-distance-débordement sont mieux définis et moins nombreux que ceux pointés par l'index additif.

Les Figure 21 et Figure 22 présentent les trop-pleins dont la valeur de l'index fait partie de la classe supérieure, ce sont les points critiques. Pour cet index, les points critiques des barrières « réseaux d'égouts » sont pour :

- La prise d'eau de Chomedey: L149 et L156 pour le réseau de Laval ; 3460(1D) et 3460(5D) pour le réseau de Montréal.
- La prise d'eau de Pont-Viau : L128, L133 et L136 pour le réseau de Laval ; 3350(11D) et 3380(1D) pour le réseau de Montréal.

Les exigences environnementales du MAMR inscrites à SOMAE qui établissent une contrainte pour le « nombre maximal de déversements annuels » des trop-pleins sur une période donnée pourraient être révisées pour les points critiques identifiés ci-dessus.

Par contre, il est important de se rappeler que les index de vulnérabilité sont basés sur des paramètres subjectifs et qu'une analyse et une investigation subséquente des résultats est essentielle. Ainsi, le point critique 3380(1D) identifié par l'index pour la prise d'eau Pont-Viau ne représente peut-être pas de risque. Il est possible que le panache de la surverse du trop-plein 3380(1D) suive la rive opposée à la prise d'eau. Sur la Figure 22, la sortie de la surverse a été placée à une distance d'environ 200 mètres de la rive. Cette distance est en réalité inconnue. Une investigation est donc nécessaire pour vérifier cette donnée importante afin de déterminer si ce trop-plein est un point critique ou non.

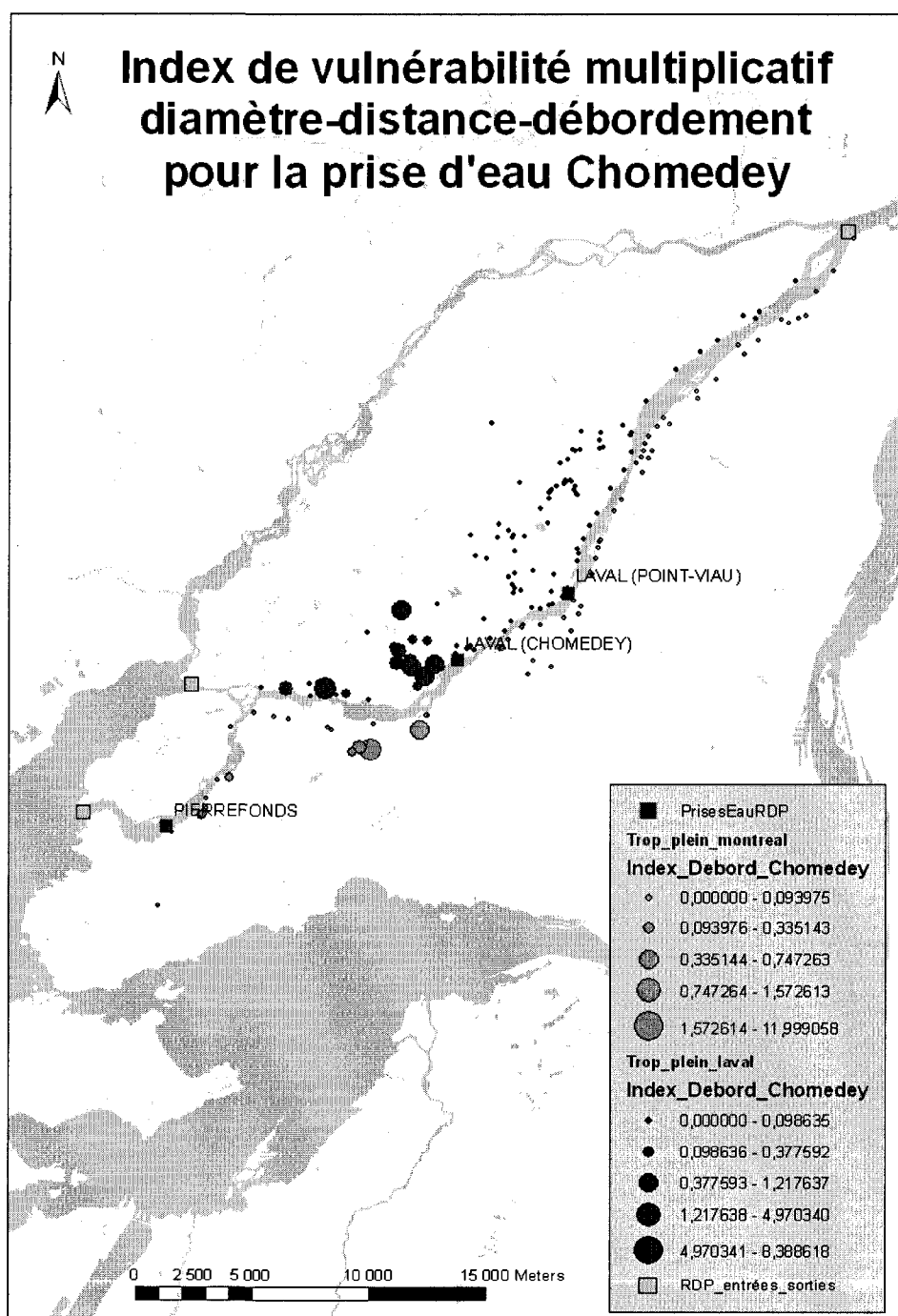


Figure 17: Index de vulnérabilité multiplicatif diamètre-distance-débordement pour la prise d'eau de Chomedey.

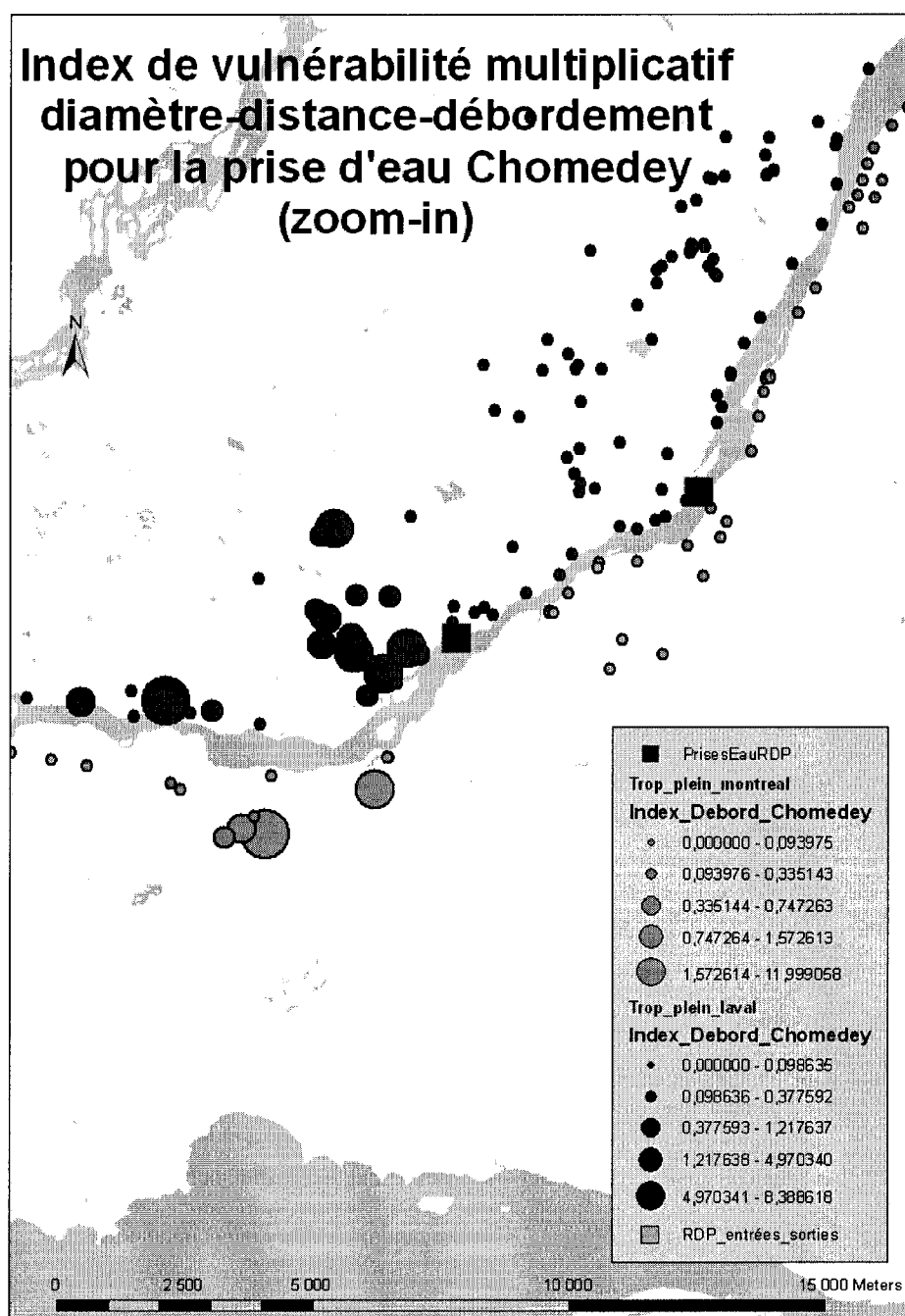


Figure 18: Index de vulnérabilité multiplicatif diamètre-distance-débordement pour la prise d'eau de Chomedey (Zoom-in).

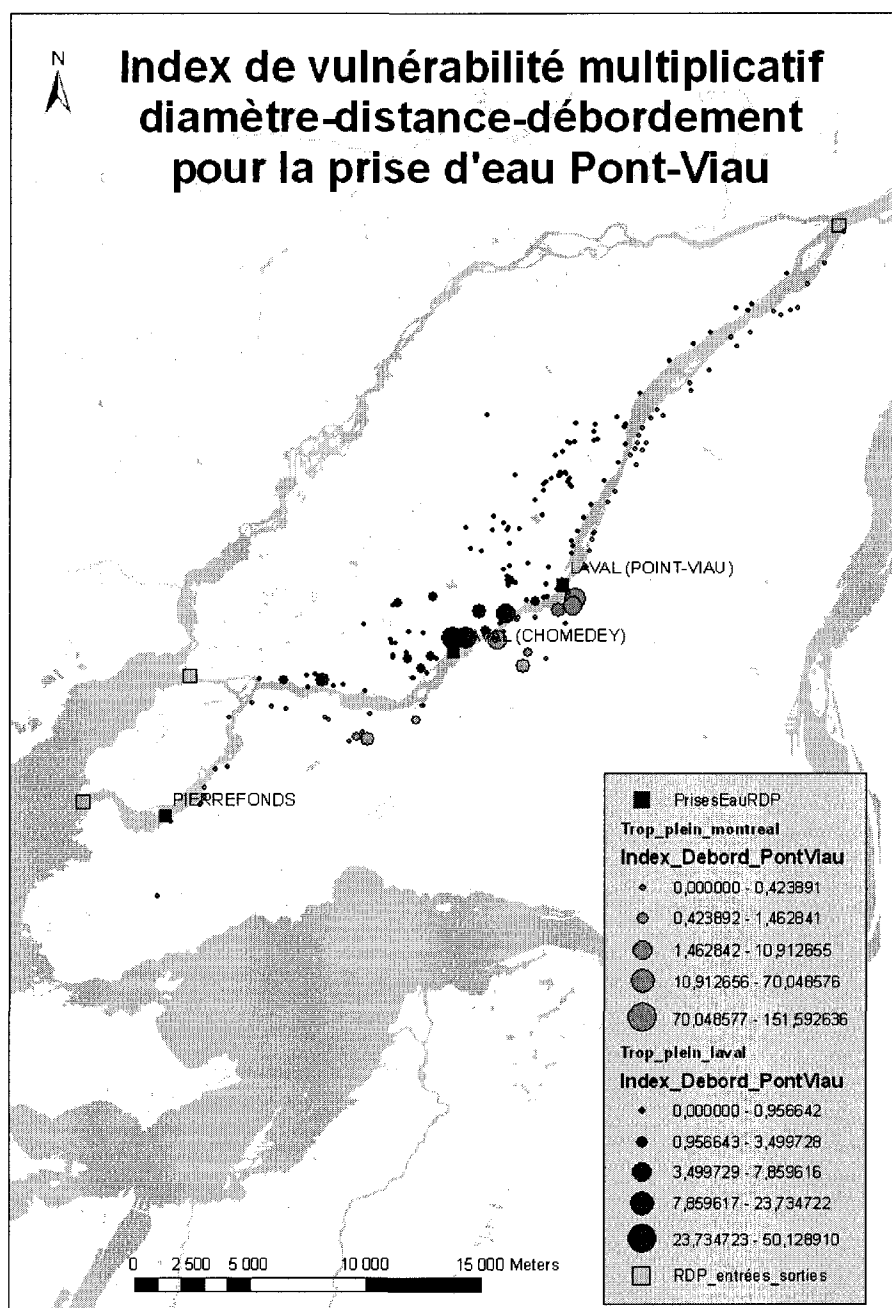


Figure 19: Index de vulnérabilité multiplicatif diamètre-distance-débordement pour la prise d'eau de Pont-Viau.

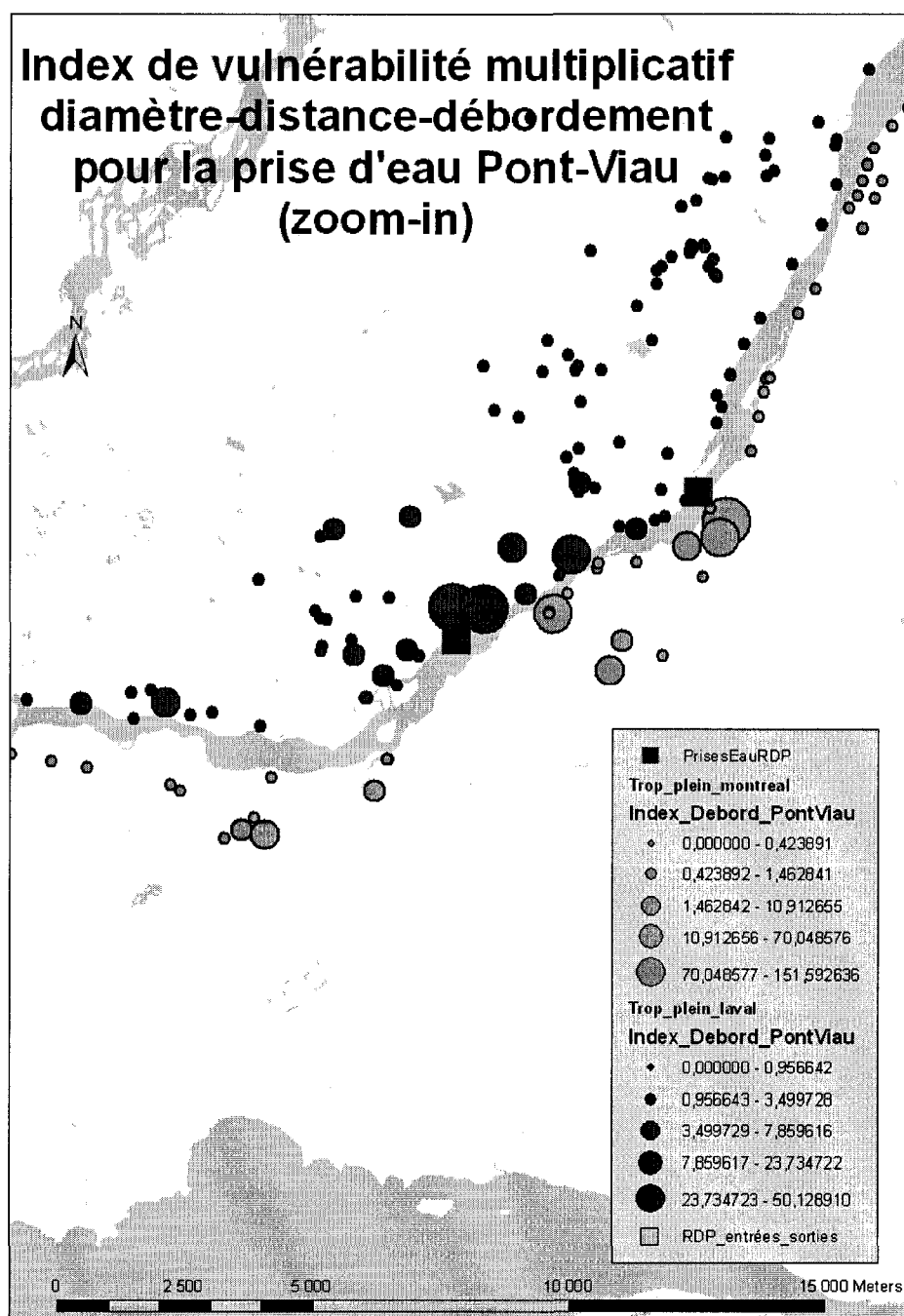


Figure 20: Index de vulnérabilité multiplicatif diamètre-distance-débordement pour la prise d'eau de Pont-Viau (Zoom-in).

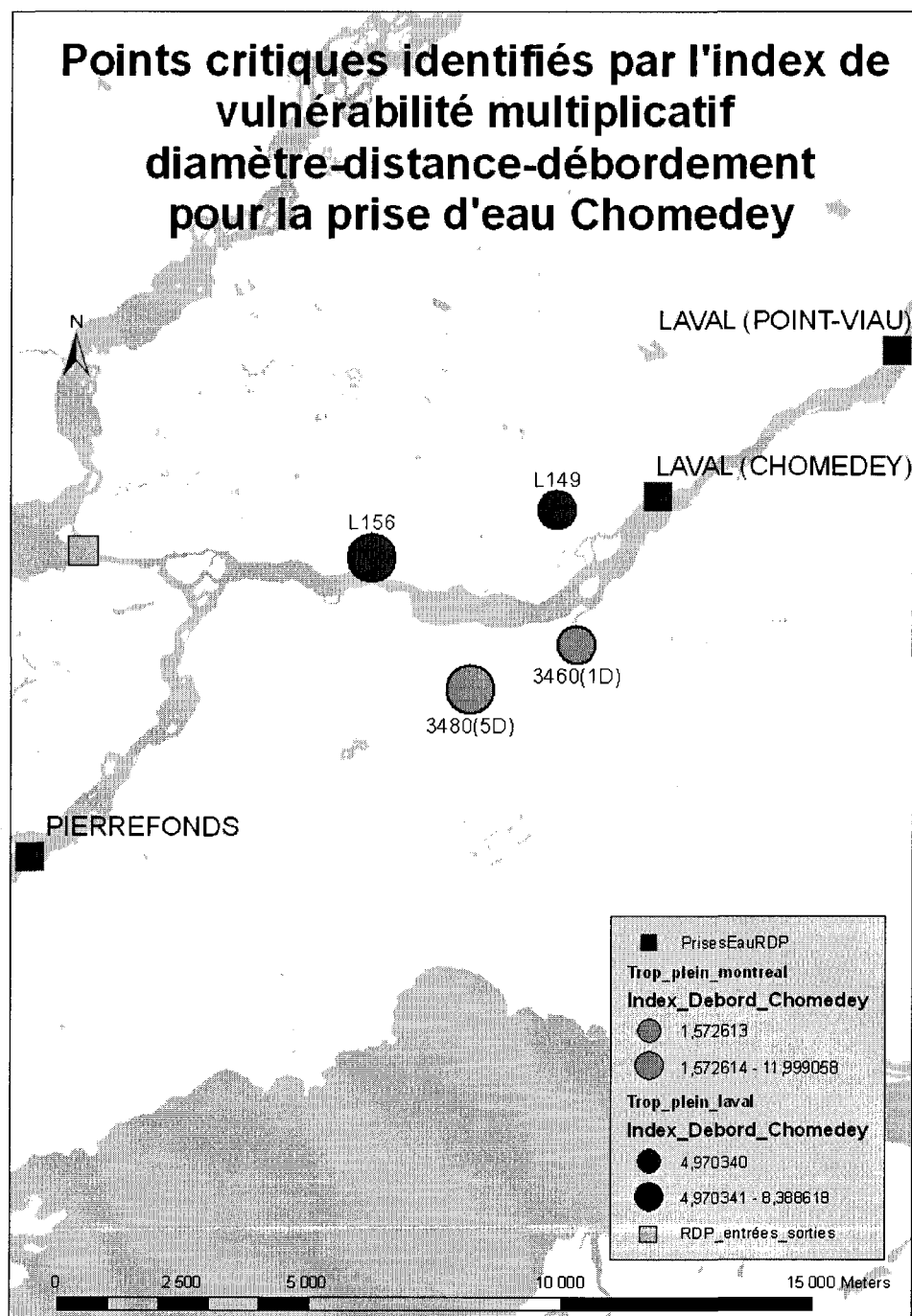


Figure 21: Points critiques identifiés par l'index de vulnérabilité multiplicatif diamètre-distance-débordement pour la prise d'eau de Chomedey.

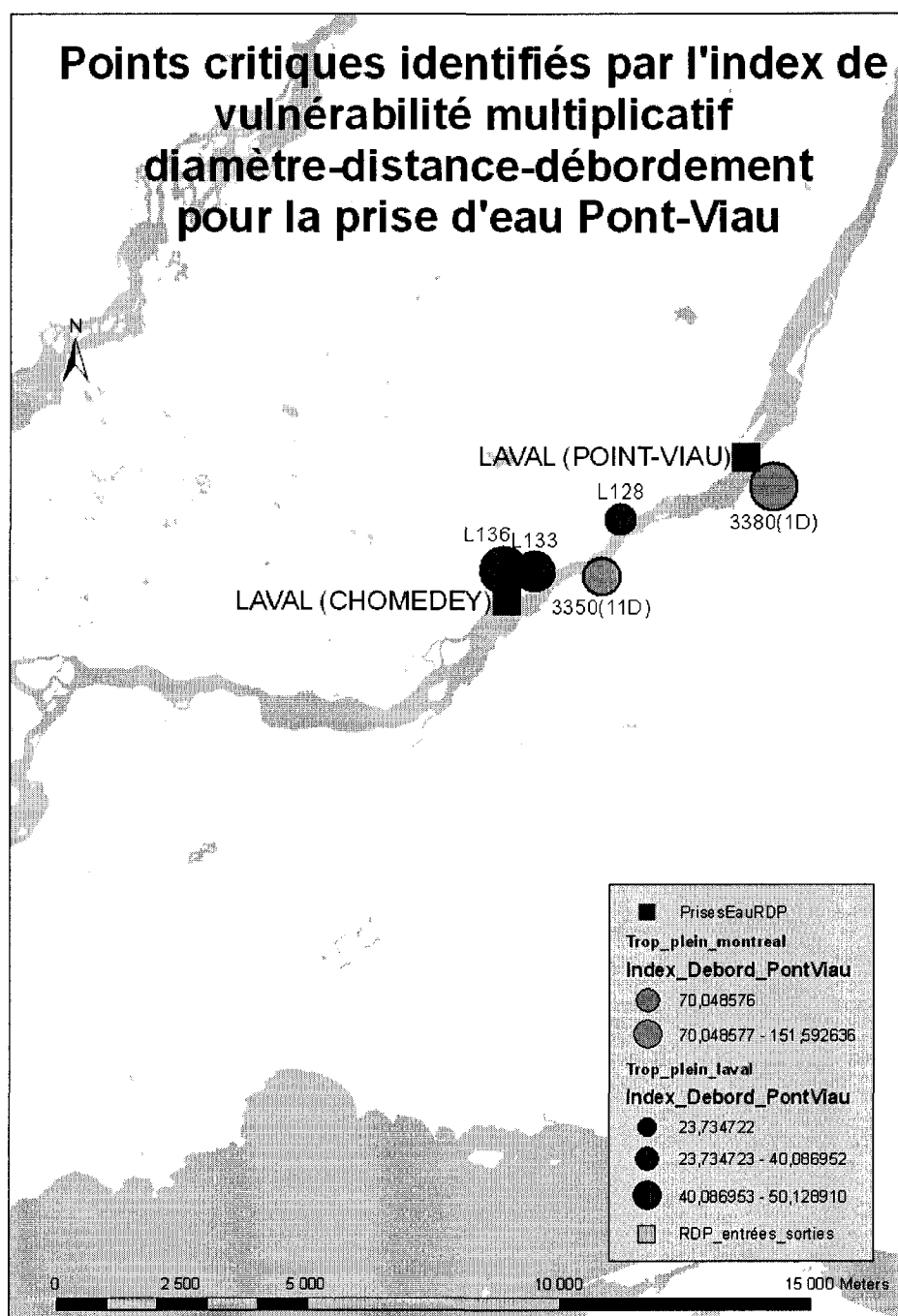


Figure 22: Points critiques identifiés par l'index de vulnérabilité multiplicatif diamètre-distance-débordement pour la prise d'eau de Pont-Viau.

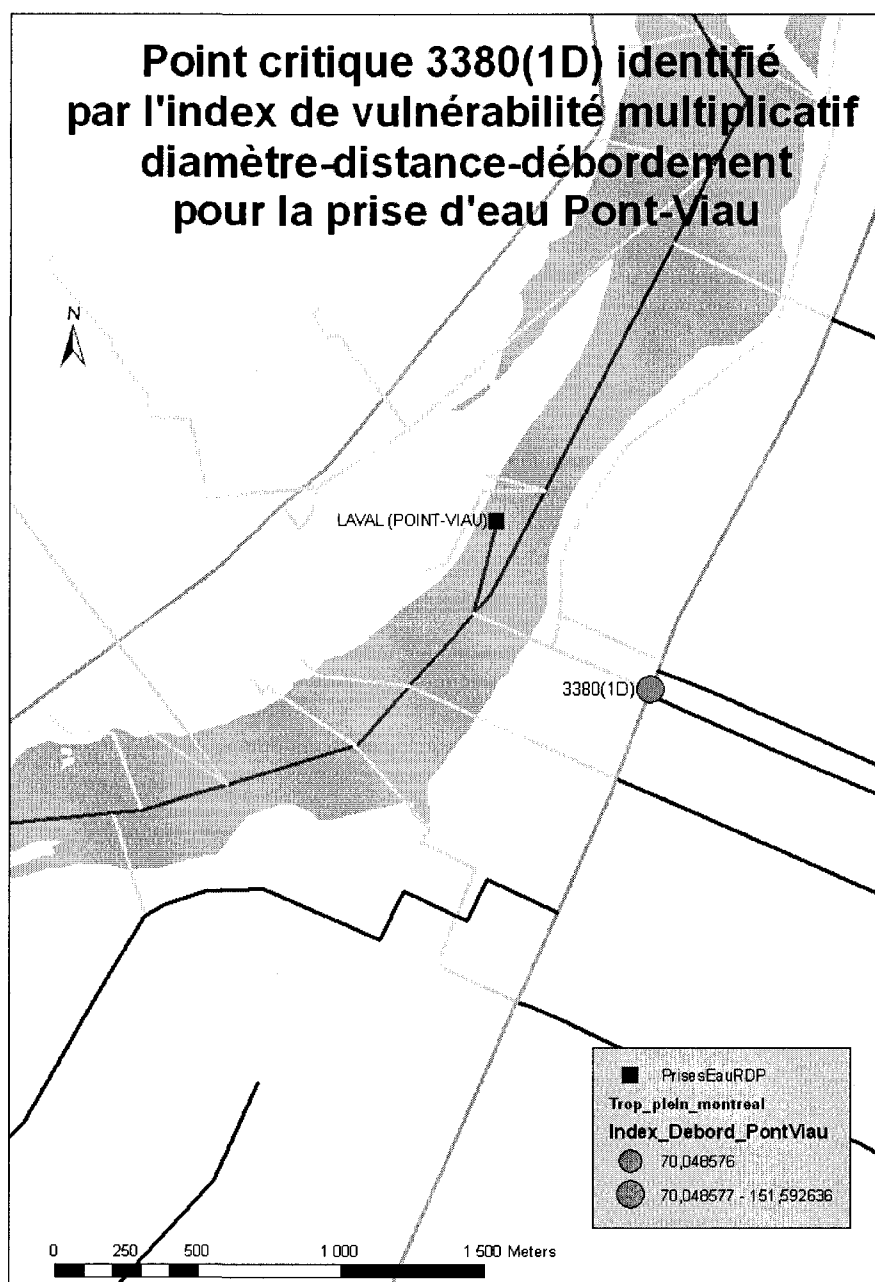


Figure 23: Point critique 3380(1D) identifié par l'index de vulnérabilité multiplicatif diamètre-distance-débordement pour la prise d'eau de Pont-Viau.

3.5 Gestion de la performance des barrières

Tel que précisé plus haut, cette étude de cas se limite à la barrière « réseau d'égouts ». Donc, dans cette section, c'est uniquement la performance des réseaux d'égouts de Montréal et de Laval qui sera évaluée.

3.5.1 Contraintes imposées aux trop-pleins

Des exigences environnementales, inscrites dans SOMAE, sont imposées aux trop-pleins des réseaux d'égouts par le Ministère des affaires municipales et des régions (MAMR). Ces contraintes limitent le nombre de déversement permit sur une période donnée (i.e. 15 juin au 15 septembre). En générale, ces périodes se situent entre les mois de mai et d'octobre.

Cette contrainte n'a pas été spécifiquement conçue pour protéger la qualité de l'eau brute aux prises d'eau potable. Par contre, elle aide à maintenir une qualité d'eau dans la ressource. L'analyse de vulnérabilité et l'identification de points critiques pourraient amener un éventuel resserrement des contraintes.

Par exemple, pour réduire les risques de contamination de la prise d'eau de Chomedey, les exigences environnementales des trop-pleins identifiés comme points critiques sur la carte de la Figure 21 (L149, L156, 3460-1D, 3480-5D) pourraient être resserrées.

Mais pour les besoins de notre étude, les exigences environnementales actuellement définies, inscrites dans SOMAE par le MAMR seront utilisées.

3.5.2 Surveillance de la contrainte

La Figure 24 présente les trop-pleins qui n'ont pas respectés les contraintes inscrites dans SOMAE du MAMR durant les années 2004, 2005, 2006 ou 2007. L'index de performance utilisé pour cette figure est la somme des déversements qui excèdent le seuil défini par le MAMR pour chacun des trop-pleins durant ces quatre années.

Cette carte révèle que cette contrainte de sécurité a été enfreinte plusieurs fois par de nombreux trop-pleins durant les quatre années vérifiées, 2004 à 2007.

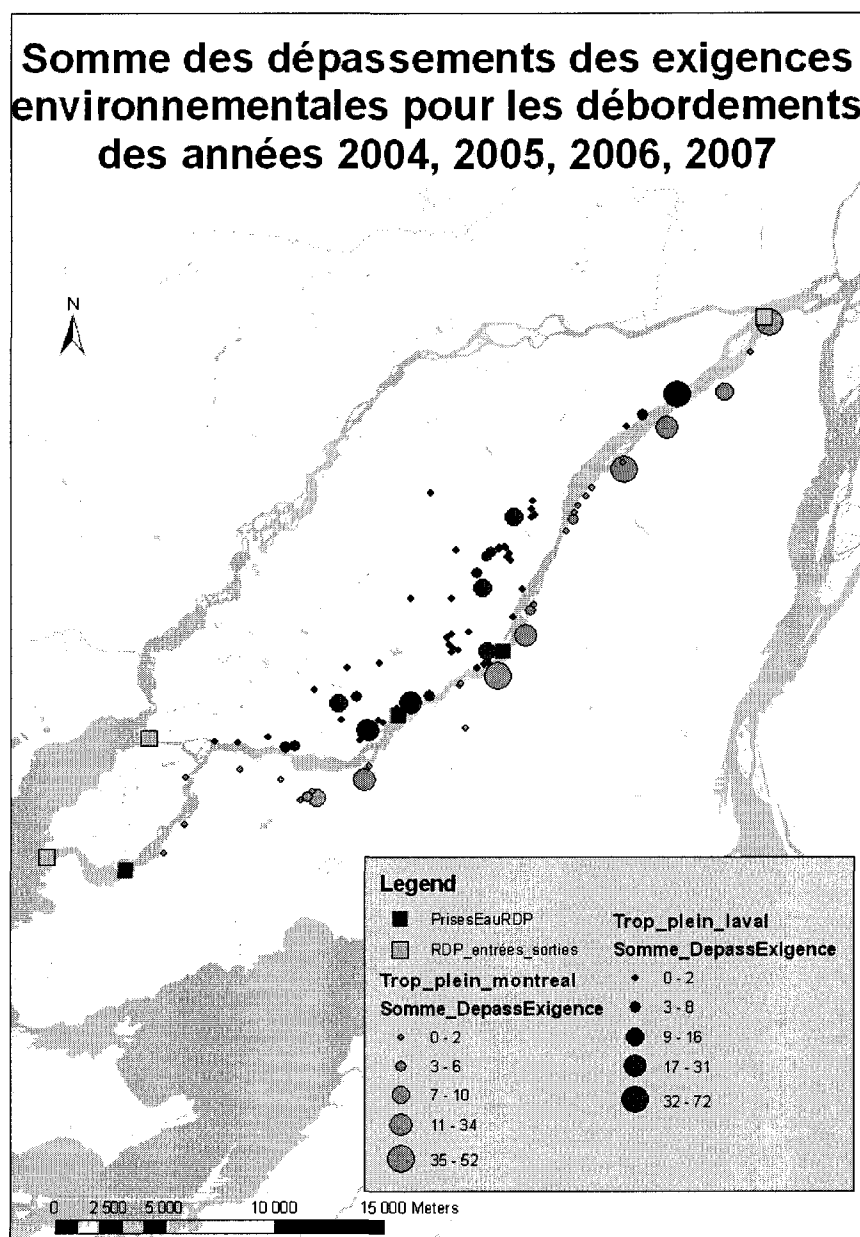


Figure 24: Somme des dépassements des exigences environnementales pour les débordements des années 2004 à 2007.

3.5.3 Intervention

Étant donné cet état des faits, deux types d'interventions sont possibles : l'amélioration de la performance des barrières existantes ou l'ajout de nouvelles barrières.

Amélioration de la performance des barrières existantes

Afin d'améliorer la performance des réseaux d'égouts de Montréal et de Laval, une analyse est nécessaire pour prioriser les interventions. Cette analyse devrait nous indiquer, parmi les trop-pleins qui ne respectent pas les exigences environnementales, ceux qui représentent le plus de risque pour la qualité de l'eau brute aux prises d'eau de Chomedey et de Pont-Viau. Un index de risque servira à évaluer l'impact de la violation de la contrainte sur la qualité de l'eau brute. Afin de construire cet index de risque, les mêmes concepts utilisés pour les index de vulnérabilité sont réappliqués.

Pour faire le calcul de cet index de risque, nous avons utilisé la formule suivante :

$$Index = \frac{(Dia)^2}{\ln(Dist)} \times \sum_{2004}^{2007} (dépassements_annuels)$$

Le nombre de dépassements annuels est le nombre de déversements annuels qui excède les exigences environnementales.

Les index de risque visent à identifier les points d'intervention prioritaires qui violent les contraintes de sécurité déjà établies alors que les index de vulnérabilité visent à identifier les points critiques dans le but d'établir ou de redéfinir les contraintes de sécurité.

Les Figure 25 et Figure 27 présentent la classification des trop-pleins en fonction de l'index de risque. Les Figure 26 et Figure 28 présentent uniquement les trop-pleins dont les valeurs de l'index de risque appartiennent à la classe supérieure.

Pour la prise d'eau de Chomedey (Figure 26), les trop-pleins qui requièrent une intervention prioritaire selon l'index de risque sont :

- L139 et L141 pour la ville de Laval.
- 3460(1D) et 3480(5D) pour la ville de Montréal.

Pour la prise d'eau de Pont-Viau (figure 28), les trop-pleins qui requièrent une intervention prioritaire selon l'index de risque sont :

- L131, L133 et L141 pour la ville de Laval.
- 3480(5D), 3411(1D) et 3765(1D) pour la ville de Montréal.

L'identification de ces points d'intervention prioritaire pourrait guider le choix des municipalités et des Ministères pour la planification des futurs bassins de rétention à Montréal et à Laval.

Encore une fois, il est important de préciser que les index de risque comme les index de vulnérabilité sont basés sur des paramètres subjectifs et qu'une analyse et une investigation subséquentes des résultats sont essentielles. Ainsi, le trop-plein 3360(1D) identifié par l'index de risque comme un point d'intervention prioritaire pour la prise d'eau Chomedey ne représente peut-être pas de risque élevé pour la prise d'eau de Chomedey. Il est possible que le panache de la surverse du trop-plein 3360(1D) suive la rive opposée à la prise d'eau. Une investigation plus approfondie est alors nécessaire à l'aide d'outil de télédétection ou d'hydrodynamique.

Par contre, il est intéressant de remarquer que les trop-pleins L141 de Laval et 3480(5D) de Montréal sont identifiés comme étant des points d'intervention prioritaires pour les

deux prises d'eau : Chomedey et Pont-Viau. Par conséquent, d'après la contrainte de sécurité « exigences environnementales », une intervention qui viserait à réduire le nombre de déversements pourrait des trop-pleins L141 et 3480(5D) aurait un impact significatif sur la qualité de l'eau brute de Chomedey et de Laval.

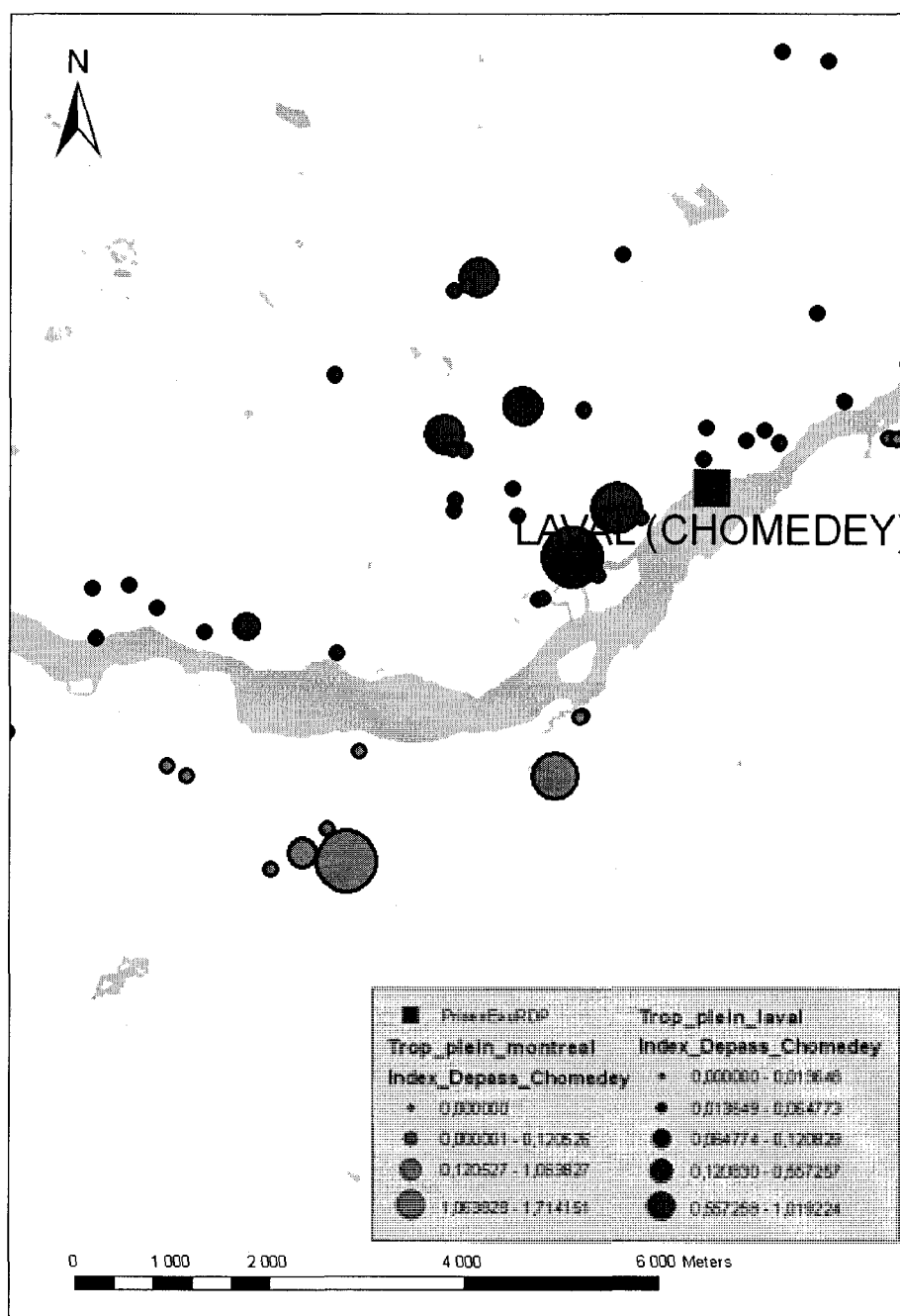


Figure 25: Index de risque en fonction du diamètre, de la distance et du dépassement des exigences environnementales pour les années 2004 à 2007 pour la prise d'eau de Chomedey.

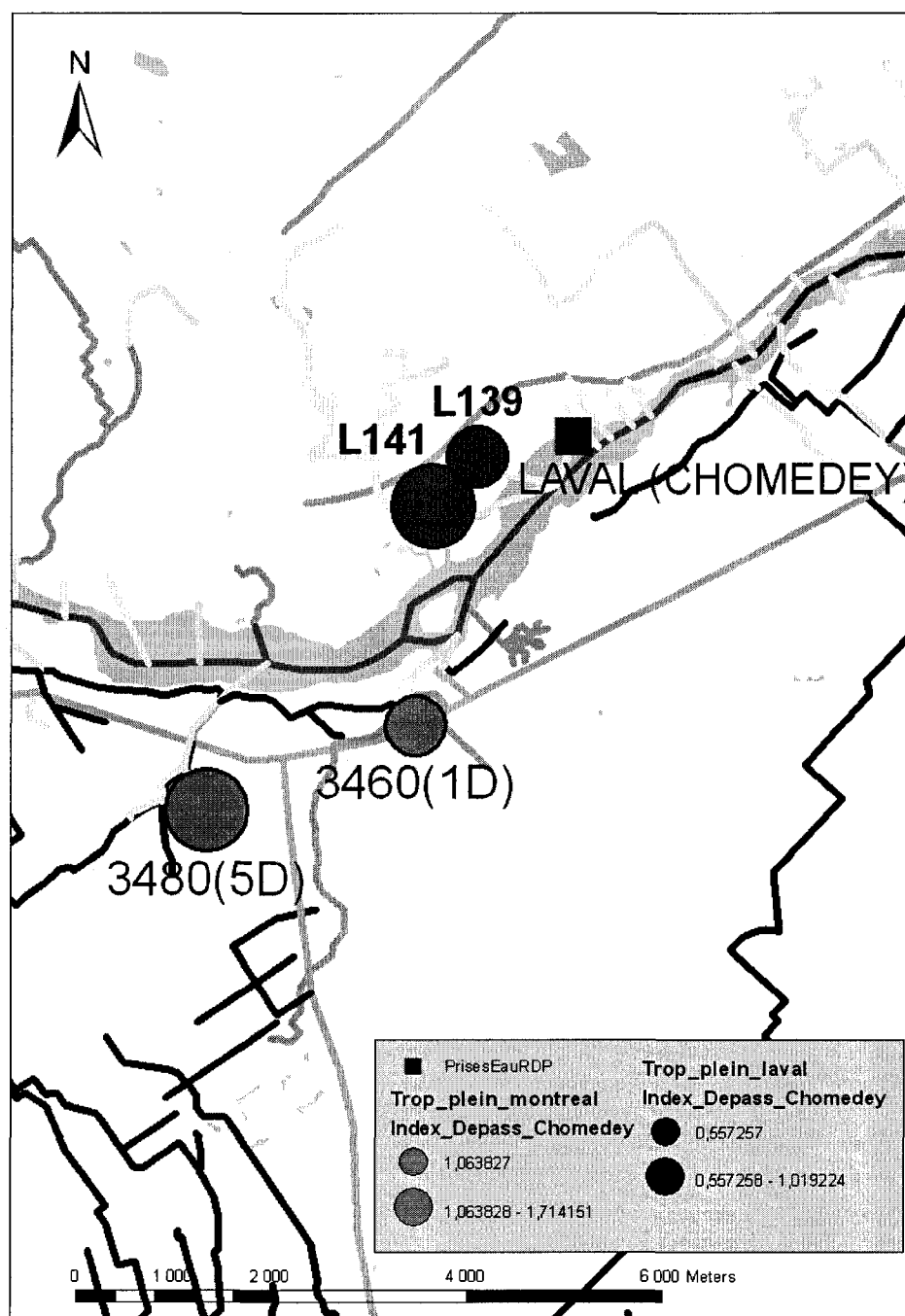


Figure 26: Index de risque en fonction du diamètre, de la distance et du dépassement des exigences environnementales pour les années 2004 à 2007 pour la prise d'eau de Chomedey (Zoom-in).

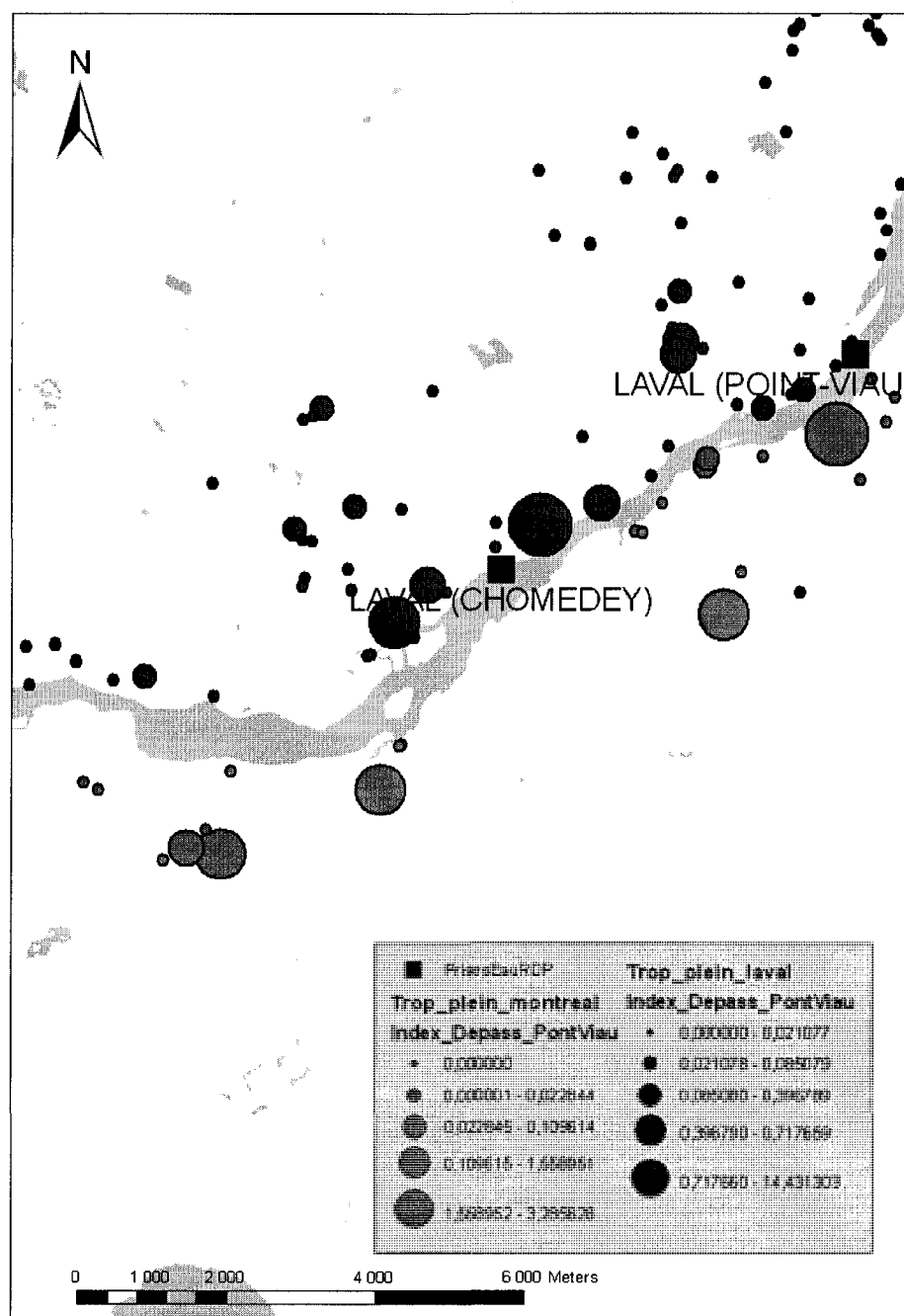


Figure 27: Index de risque en fonction du diamètre, de la distance et du dépassement des exigences environnementales pour les années 2004 à 2007 pour la prise d'eau de Pont-Viau.

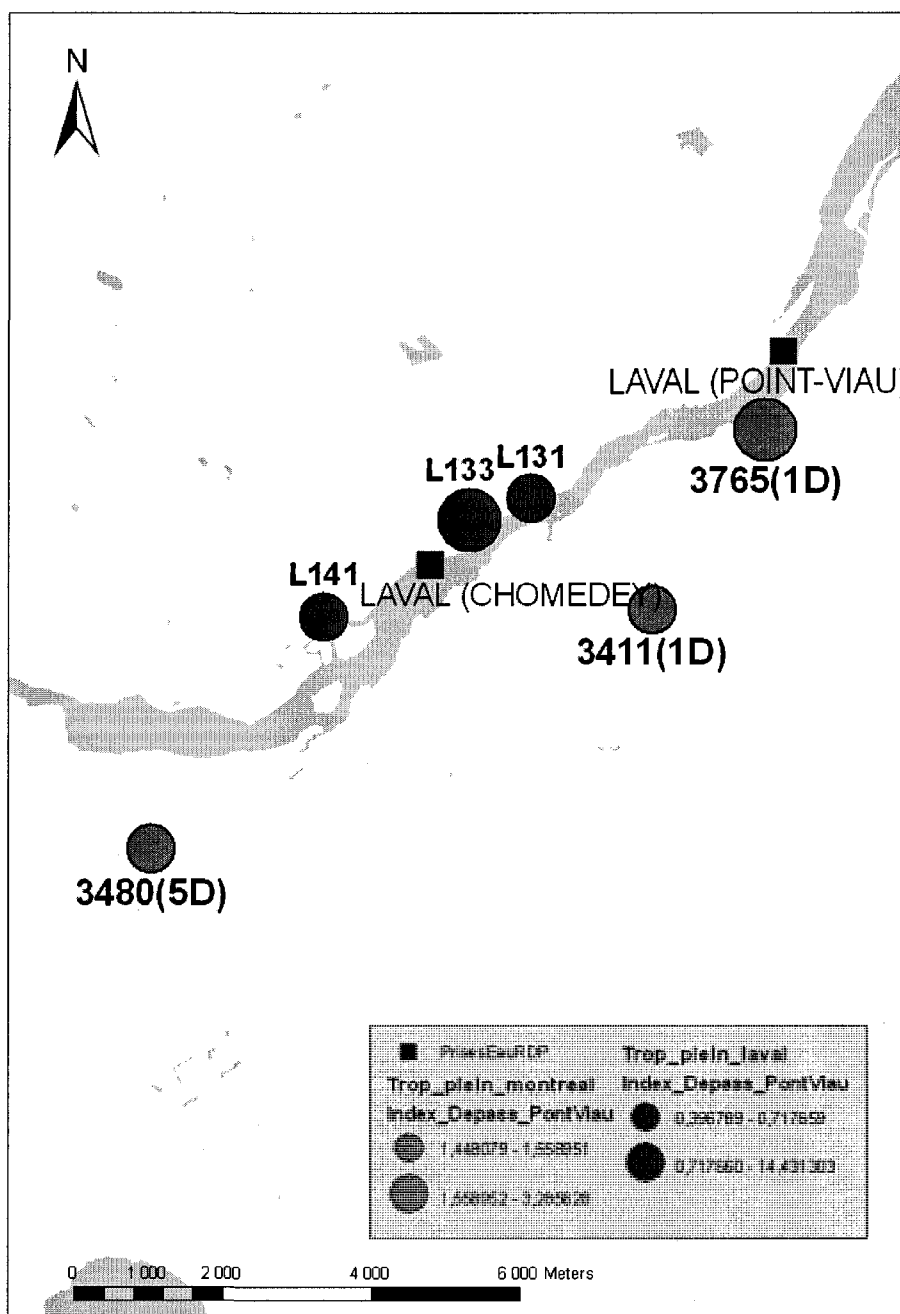


Figure 28: Index de risque en fonction du diamètre, de la distance et du dépassement des exigences environnementales pour les années 2004 à 2007 pour la prise d'eau de Pont-Viau (Zoom-in).

Ajout de nouvelles barrières

Des barrières très populaires dans le domaine de la protection de la ressource sont les zones-tampon. Ces zones délimitent un territoire à l'intérieur duquel certaines activités ou usages de la ressource sont interdites. Par exemple, une zone-tampon pourrait être délimitée pour interdire le déversement de trop-plein à moins de 2 km en amont de la prise d'eau de Chomedey (voir Figure 29 et Figure 30)

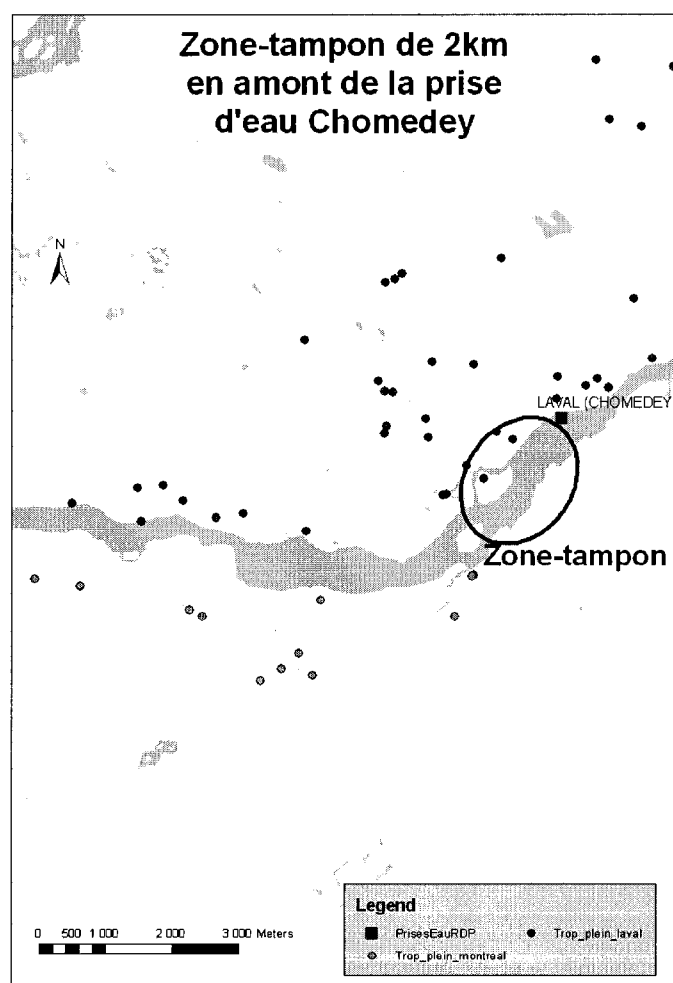


Figure 29: Zone-tampon de 2 km en amont de la prise d'eau Chomedey.

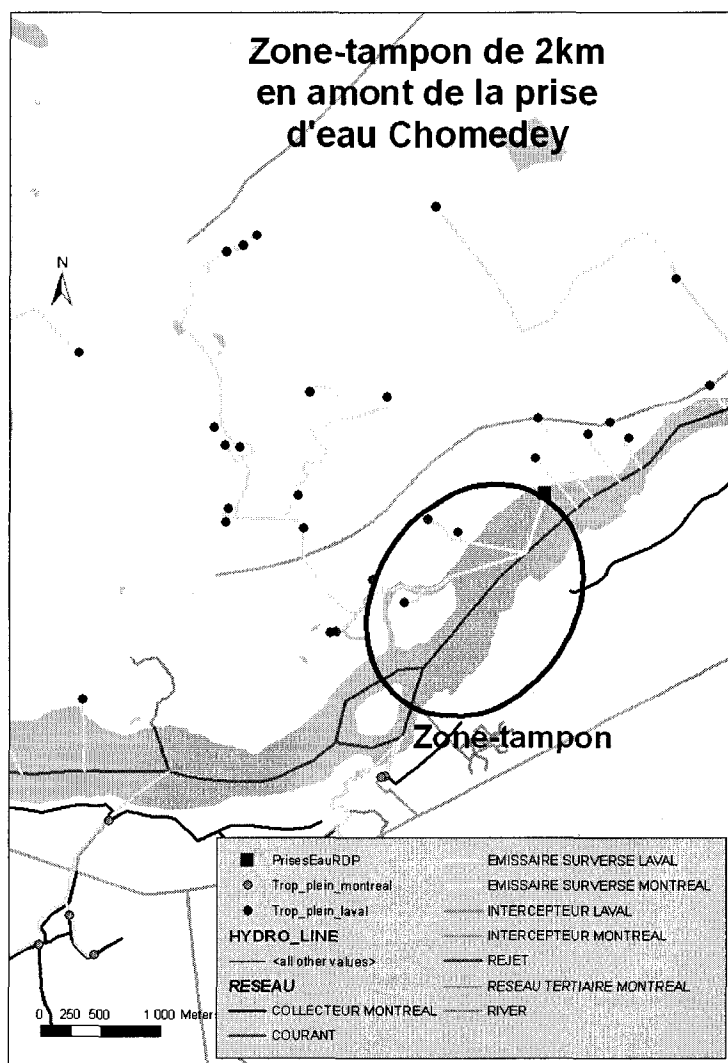


Figure 30: Zone-tampon de 2 km en amont de la prise d'eau Chomedey (Zoom-in).

Si cette barrière était définie, les surverses de plusieurs trop-pleins du réseau d'égouts de Laval devraient être déplacées en aval de la prise d'eau de Chomedey. Mais avant d'ajouter une telle barrière, qui pourrait être coûteuse, des outils de modélisations déterministes et stochastiques pourraient déterminer les relations causales ou empiriques entre ces surverses et la qualité de l'eau à la prise d'eau de Chomedey. Suite à cette investigation, il serait possible de décider si le déplacement des surverses applique le

concept de la diligence raisonnable, qui signifie la prévention d'un danger prévisible à un coût raisonnable.

Une autre option, plus simple, serait d'établir une contrainte de sécurité basé sur un rapport de dilution approximatif en fixant un seuil maximal pour l'index suivant :

$$Index = \left[\frac{Q_{trop_plein}}{Q_{min_riviere}} \right] \div \ln(dist)$$

Où

Q_{trop_plein} : le débit maximum d'un trop-plein.

$Q_{min_riviere}$: le débit minimum de la rivière.

$dist$: la distance entre un trop-plein et la prise d'eau.

Cet index n'est pas lié au facteur débordement, mais uniquement aux débits potentiels des trop-pleins et à la distance entre les trop-pleins et une prise d'eau.

Chapitre 4 DISCUSSION SUR LES RÉSULTATS

4.1 Stratégie d'analyse : vers des index plus quantitatif

L'étude de cas présentée au Chapitre 3 applique l'approche de protection de la ressource proposée dans ce mémoire à la section 2.2. L'étude de cas sur la rivière des Prairies révèle plusieurs lacunes de l'approche :

- la subjectivité des résultats,
- le manque de valeurs quantitatives sur lesquelles se baser pour prendre des décisions,
- et la nécessité d'entreprendre des investigations et des études complémentaires (déterministes ou stochastiques) pour compléter les lacunes de l'approche.

Par contre, l'approche proposée a l'avantage d'identifier les points critiques et les points d'intervention prioritaire sur lesquelles les efforts d'analyse et d'investigation doivent être placés. Ce résultat n'est pas négligeable lorsqu'un vaste territoire contenant de multiples systèmes complexes doit être analysé. Les coûts d'investigations et d'analyses requis peuvent rapidement devenir inabordables.

Mais l'emploi d'un index de vulnérabilité qui inclurait comme facteur **le rapport entre le débit maximum de chaque trop-plein par rapport au débit moyen de la rivière des Prairies**, apparaît plus intéressant pour prendre des décisions. La construction de cet index de vulnérabilité « Débit » a été tentée durant cette étude. Malheureusement, les données nécessaires pour réaliser cette étape ont été obtenues de manière incomplète : aucune information sur les pentes des trop-pleins de la ville de Montréal. Cet index a donc été appliqué uniquement aux trop-pleins de ville de Laval.

Par contre, pour orienter les prochaines études sur le sujet, les analyses et les résultats partiels sont présentés ci-dessous.

La formule utilisée pour calculer l'index de vulnérabilité « Débit » est :

$$index_débit = \frac{Q_{TROP_PLEIN}}{Q_{MOYEN_RIVIERE}} \times \frac{\sum_{2004}^{2007} (NbHeuresDebord)}{\ln(dist)}$$

Avec,

$$Q_{TROP-PLEIN} = V \times A = \frac{1}{n} \left(\frac{A}{P} \right)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \times A \quad (\text{Équation de Manning})$$

Q = Débit, V = Vitesse, A = Aire, n = Coefficient de Manning, P = Périmètre mouillé et S = Pente.

L'équation de Manning a été utilisée pour calculer le débit maximum des trop-pleins (King, 1937). La valeur du coefficient de Manning a été fournie par l'ingénieur de la ville de Montréal, Mr. Dao Dang, pour des conduites en béton neuf : $n = 0,013$. L'aire et le périmètre mouillé ont été calculés pour une conduite complètement pleine.

Le débit moyen de la rivière a été calculé à partir des données du Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs (MDDEP) entre le 1^{er} janvier 1987 et le 31 décembre 2006 (les vingt dernières années).

$$Q_{MOYEN_RIVIERE} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$$

La Figure 31 présente le rapport entre le débit des trop-pleins du réseau de Laval et le débit moyen de la rivière des Prairies (en %). La Figure 32 présente les valeurs de

l'index de vulnérabilité "Débit" des trop-pleins de Laval pour la prise d'eau de Chomedey. La Figure 33 présente les trop-pleins dont l'index de vulnérabilité « Débit » est élevé ($>0,038$), ce sont les points critiques. Les Figure 34 et Figure 35 présentent les même résultats mais pour la prise d'eau de Pont-Viau.

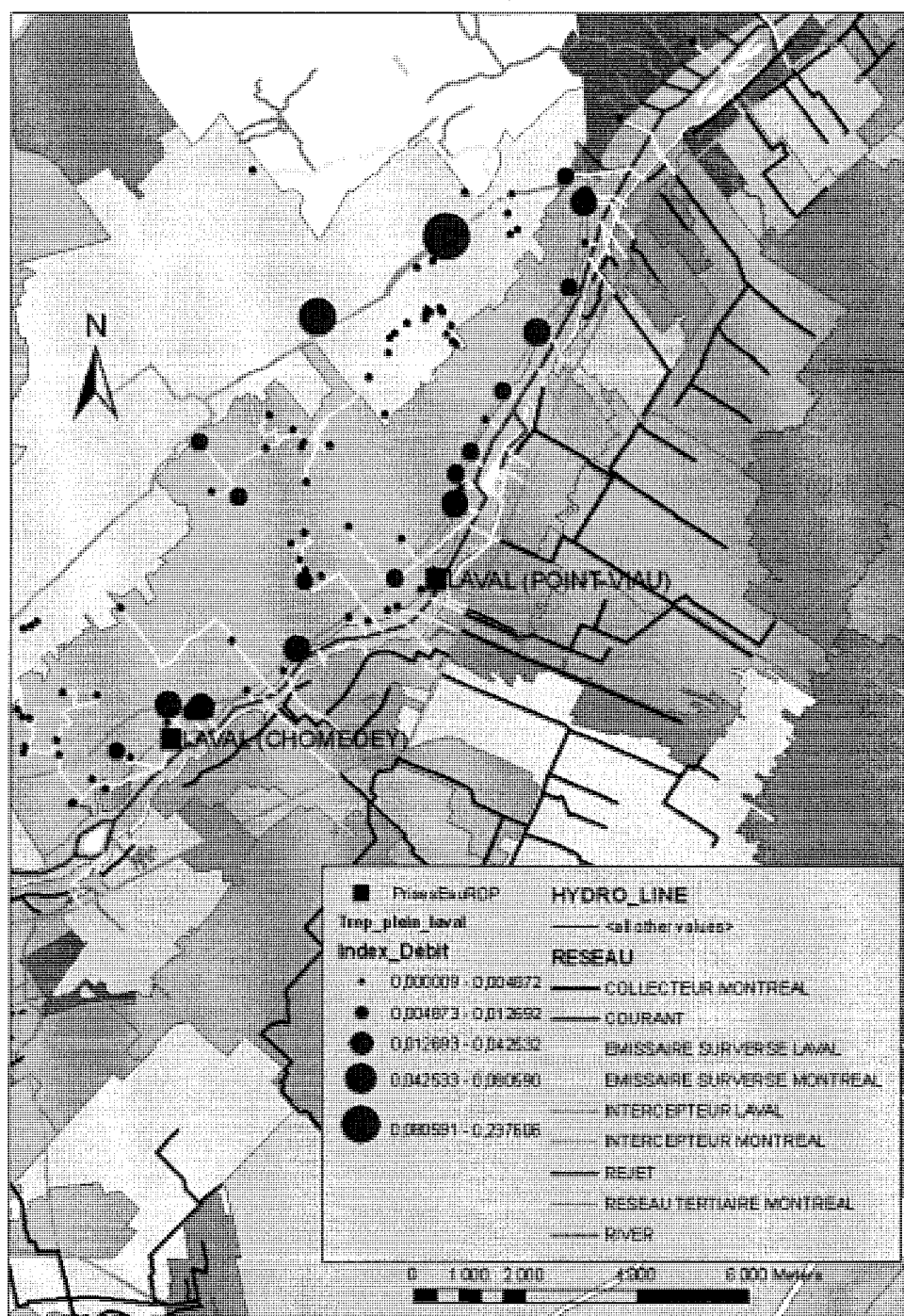


Figure 31: Rapport entre le débit des trop-pleins du réseau de Laval et le débit moyen de la rivière des Prairies de 1987-2007 en %.

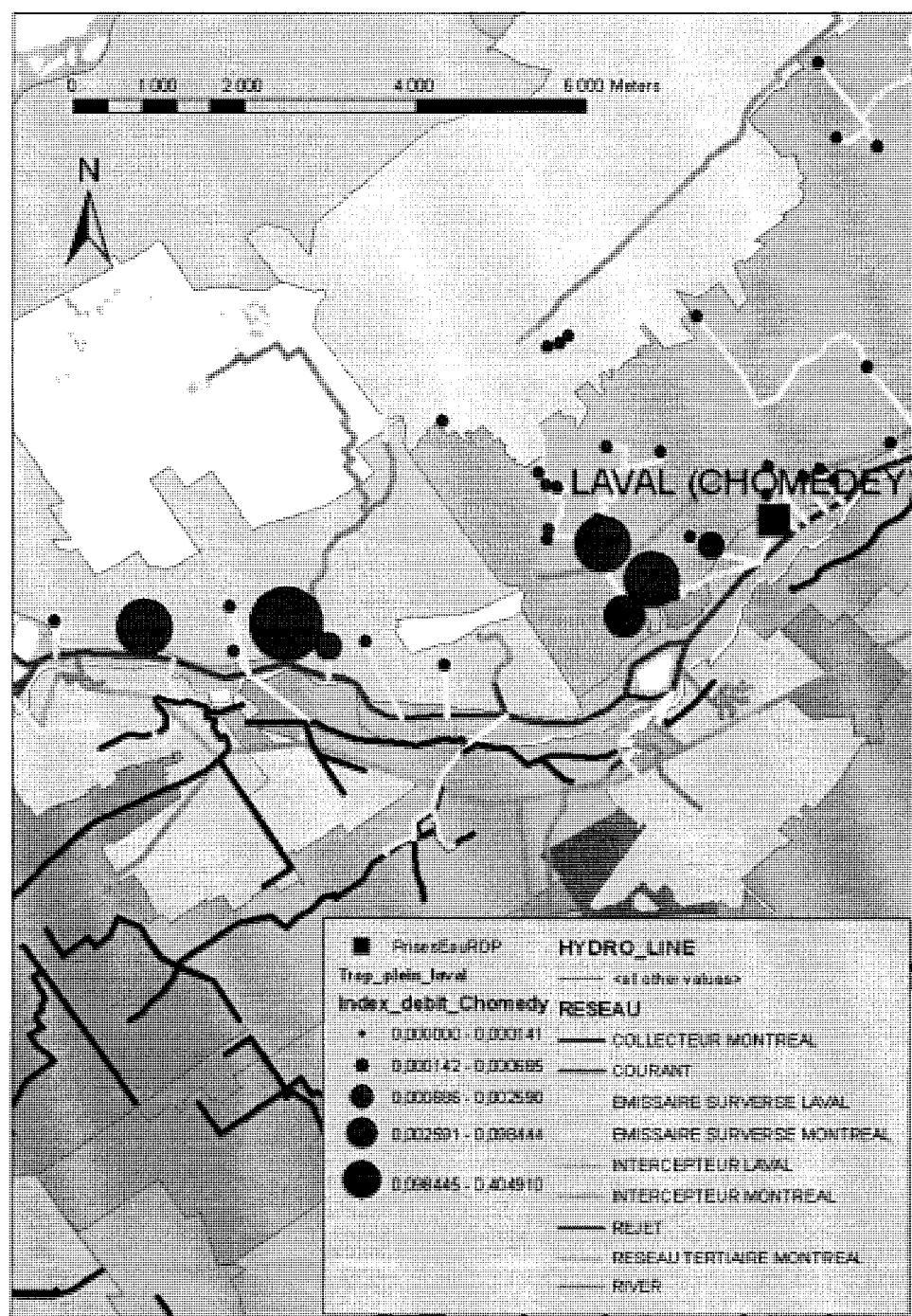


Figure 32: Index de vulnérabilité "Débit" pour la prise d'eau de Chomedey.

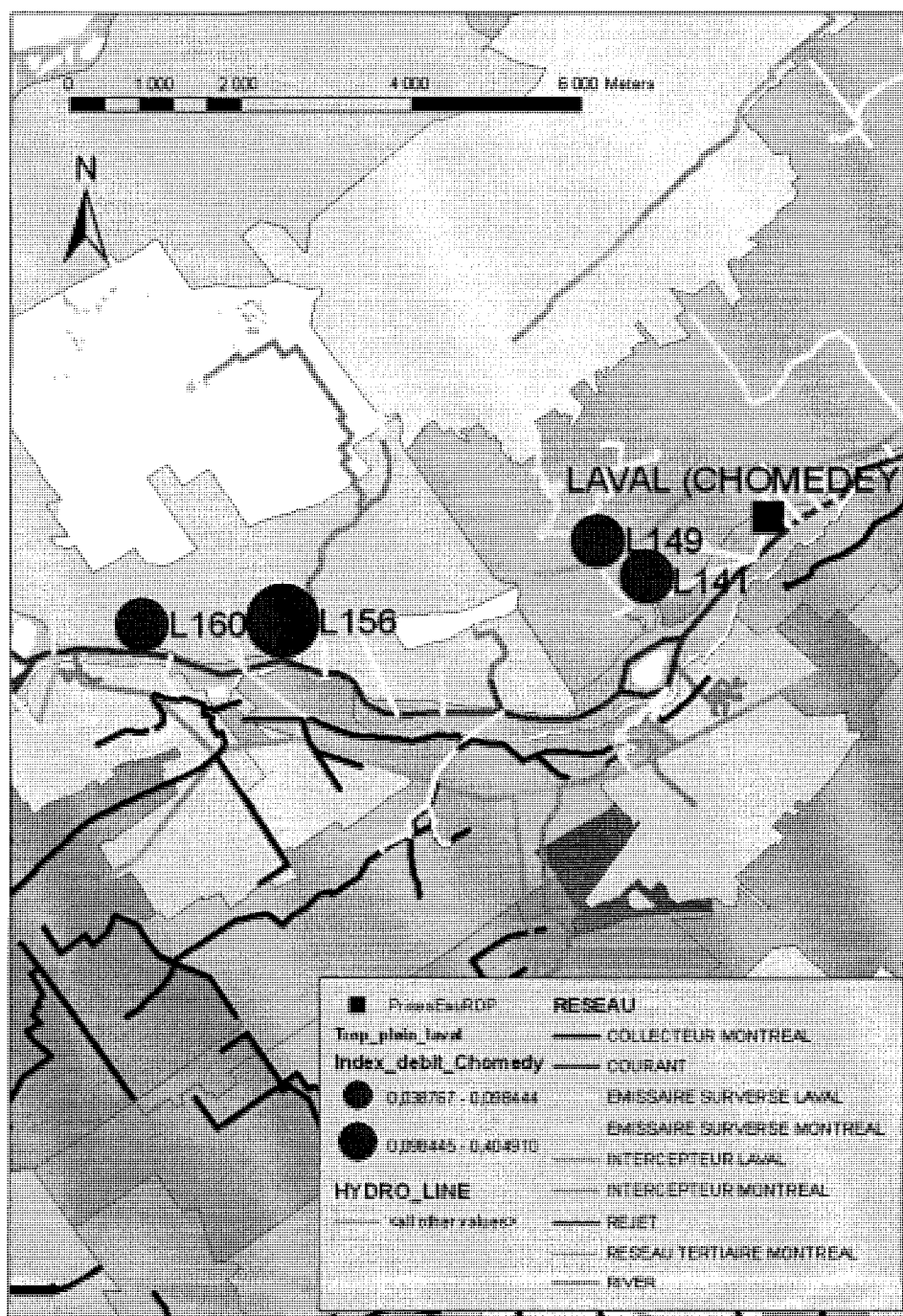


Figure 33: Points critiques identifiés par l'index de vulnérabilité "Débit" pour la prise de Chomedey.

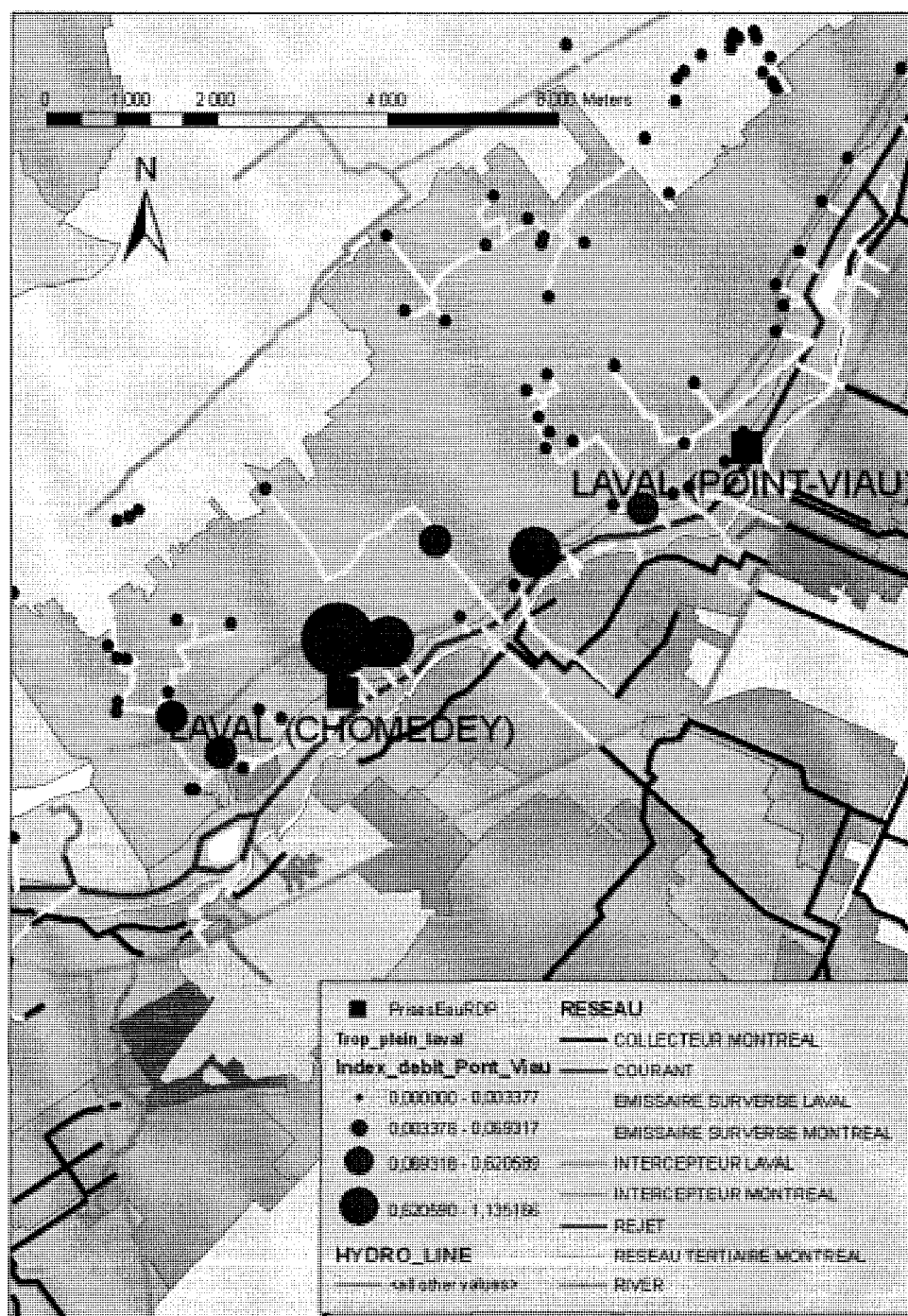


Figure 34: Index de vulnérabilité "Débit" pour la prise d'eau de Pont-Viau.

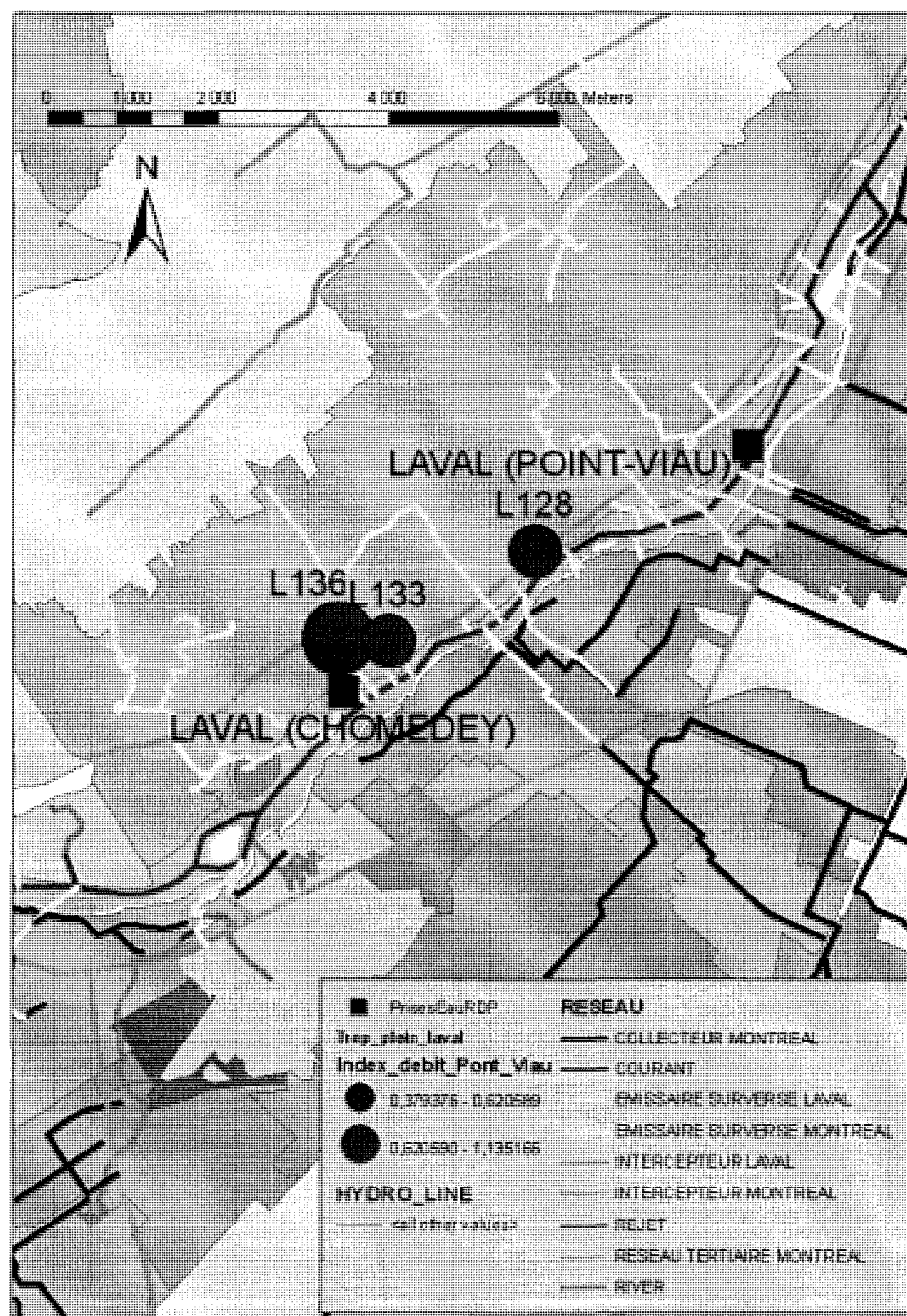


Figure 35: Points critiques identifiés par l'index de vulnérabilité "Débit" pour la prise de Pont-Viau.

4.2 Synthèse des résultats

4.2.1 Les points critiques

Des points critiques ont été identifiés avec deux différents index de vulnérabilité. :

- l'index basé sur le nombre de débordements annuels :

$$Index_débord = \frac{(Dia)^2}{\ln(Dist)} \times \sum_{2004}^{2007} (débordements_annuels)$$

- l'index basé sur le débit :

$$Index_débit = \frac{Q_{TROP_PLEIN}}{Q_{MOYEN_RIVIERE}} \times \frac{\sum_{2004}^{2007} (NbHeuresDebord)}{\ln(dist)}$$

Tableau 8 : Points critiques identifiés par les index de vulnérabilité parmi les trop-pleins

INDEX	Trop-pleins	Chomedey	Pont-Viau
Index débordement	Laval	L149, L156	L128, L133, L136
	Montréal	3460(1D), 3480(5D)	3350(11D), 3380(1D)
Index débit	Laval	L141, L149, L156, L160	L128, L133, L136
	Montréal	données manquantes	données manquantes

Le Tableau 8 identifie les points critiques sélectionnés parmi les trop-pleins de Laval et de Montréal par les deux index de vulnérabilité. Pour la prise d'eau de Chomedey, les deux points critiques sur le réseau d'égouts de Laval identifiés par l'index de débordement (L149 et L156) sont aussi identifiés par l'index du débit. Pour la prise d'eau de Pont-Viau, les trois points critiques sur le réseau d'égouts de Laval identifiés par l'index de débordement (L128, L133 et L136) sont aussi identifiés par l'index du

débit. Aucune comparaison ne peut être effectuée pour les points critiques sur le réseau de Montréal car il manquait les données sur les pentes des trop-pleins.

La récurrence des points critiques sur le réseau d'égouts de Laval peut s'expliquer par deux phénomènes :

- la similitude entre les formules pour calculer les deux index (i.e. division par le logarithme de la distance);
- une possible corrélation entre le nombre de débordement et le nombre d'heures de débordement.

4.2.2 Les points d'intervention prioritaire

Les points d'intervention prioritaire ont été identifiés avec un index de risque :

$$Index = \frac{(Dia)^2}{\ln(Dist)} \times \sum_{2004}^{2007} (dépassements \text{ _ annuels})$$

Tableau 9 : Points d'intervention prioritaire identifiés par l'index de risque

INDEX	Trop-pleins	Chomedey	Pont-Viau
Index de risque	Laval	L139, L141	L131, L133, L141
	Montréal	3460(1D), 3480(5D)	3411(1D), 3480(5D), 3765(1D)

Tableau 9 identifie les points d'intervention prioritaire sélectionnés parmi les trop-pleins de Laval et de Montréal par l'index de risque. Les deux points d'intervention prioritaire sur le réseau d'égouts de Montréal identifiés par l'index de risque (3460-1D et 3480-5D) sont aussi des points critiques identifiés par l'index de débordement (voir Tableau 8).

Par contre, il n'existe aucune autre similitude entre les points d'intervention prioritaire et les points critique.

Tableau 10 : Informations sur les trop-pleins 3460(1D) et 3480(5D) du réseau d'égouts de Montréal.

Trop_Plein	DIAMÈTRE (mm)	DistanceChomedey (m)	DistancePontViau (m)	DEBORDEMENT	DEPASSEMENT
3460(1D)	600	2400	8220	34	23
3480(5D)	1200	4450	10270	70	10

Le tableau 10 présente des informations sur les trop-pleins 3460(1D) et 3480(5D) entre les années 2004 et 2007. Le nombre de débordement (34 et 70) et le nombre de débordements qui dépasse les exigences environnementales de MAMR (les dépassements : 23 et 10) de 2004 à 2007 sont très élevés. Cette constatation expliquerait que ces deux trop-pleins soient sélectionnés par l'index de risque et l'index de vulnérabilité « débordement ».

4.3 Des index pour les risques chimiques

La performance des autres barrières de la rivière des Prairies devrait aussi être évaluée, par exemple, les barrières qui contrôlent les rejets chimiques. Environnement Canada entretient la base de données "Inventaire national des rejets de polluants" (INRP) pour tout le pays. Les industries montréalaises et lavalloises inscrites dans la base de données "Inventaire national des rejets de polluants" (INRP) d'Environnement Canada sont identifiées sur la carte de la Figure 36.



Figure 36: Industries montréalaises et lavalloises inscrites dans la base de données "Inventaire national des rejets de polluants" (INRP) d'Environnement Canada.

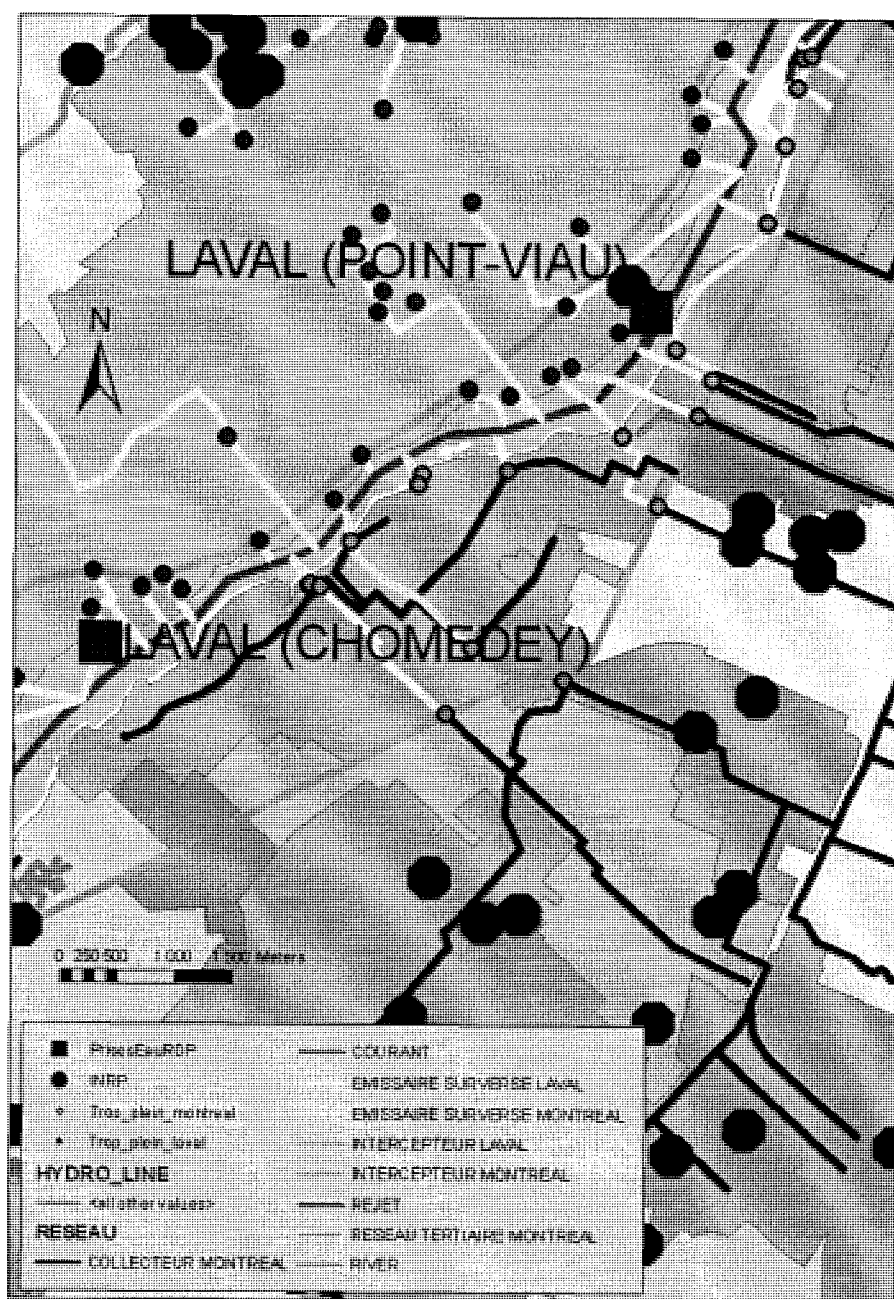


Figure 37: Industries montréalaises et lavalloises inscrites dans la base de données "Inventaire national des rejets de polluants" (INRP) d'Environnement Canada (Zoom-in).

La Figure 37 est un « zoom-in » autour des prises d'eau de Chomedey et de Pont-Viau. Des index de vulnérabilité et de risque peuvent être construits pour vérifier l'adéquation des contraintes de sécurité et pour identifier les points d'intervention prioritaires parmi ces nombreuses industries lavalloises et montréalaises. Dans la littérature scientifique, deux articles proposent des méthodes de construction d'index pour les risques industriels (Bryant et Abkowitz, 2007)

CONCLUSION

Cette étude présente :

- Des méthodes d'analyse et de gestion du risque épidémiologiques, quantitatives et qualitatives, ainsi que différentes approches de protection de la ressource appliquées dans plusieurs pays et provinces canadiennes.
- Une approche géo-centrée pour construire un système de protection de la ressource.
- Une étude de cas sur la rivière des Prairies qui démontre l'application de l'approche géo-centrée.

L'approche géo-centrée utilise un système d'information géographique pour appliquer les principes des méthodes qualitatives d'analyse et de gestion du risque: HACCP, multi-barrières et STAMP. Dans cette approche géo-centrée, le risque est perçu comme la résultante d'une violation de contraintes par les éléments géographiques du système de protection de la ressource, au lieu d'être la résultante d'une chaîne d'évènement menant à une perte.

Le découpage en zone d'intervention des bassins versants est un élément central de cette approche. Des contraintes de sécurité pour la qualité et la quantité hydriques doivent être fixées aux points de sorties hydrologiques des zones d'intervention. Ces contraintes devraient être établies par l'organisme qui supervise et coordonne les agences de bassins versants.

L'étude de cas sur la rivière des Prairies identifie parmi les nombreux trop-pleins, les points critiques ainsi que des points d'intervention prioritaire pour les réseaux d'égouts de Montréal et de Laval.

Pour améliorer la performance de la barrière « Réseau d'égouts », plusieurs types d'intervention peuvent être explorés afin que les points de défaillances (les trop-pleins) respectent les exigences environnementales (contrainte de sécurité) du MAMR: la construction de bassin de rétention, l'ajout de nouvelles conduites pluviales, l'aménagement hydrologique du territoire, etc.

De plus, il serait intéressant d'explorer la possibilité d'appliquer l'approche d'analyse et gestion du risque géo-centrée développée dans ce mémoire à d'autres champs d'applications que celui du domaine de l'eau potable et des ressources hydriques. Ainsi, d'autres types d'infrastructures, tel que les routes, les ponts et les réseaux de télécommunications, électriques et ferroviaires pourraient peut-être utiliser les concepts et les outils développés dans le cadre de cette étude pour leurs besoins de sécurité.

BIBLIOGRAPHIE

BRYANT, D.L., ABKOWITZ, M.D. 2007. Development of a terrestrial chemical spill management system. *Journal of Hazardous Materials*. 147 : 1-2. 78-90.

DIAMANTINO, C., HENRIQUES, M.J., OLIVEIRA, M.M., FERREIRA, J.P.L. 2007. Methodologies for pollution risk assessment of water resources systems. *International Association of Hydrological Sciences*. 310 . 298-306.

HAAS, C.N., 1983. Estimation of risk due to low doses of microorganisms: a comparison of alternative methodologies. *American Journal of Epidemiology*. 118 : 4. 573-582.

HELLARD, M.E., SINCLAIR, M.I., FORBES, A.B., FAIRLEY, C.K. 2001. A randomized, blinded, controlled trial investigating the gastrointestinal health effects of drinking water quality. *Environmental Health Perspectives*. 109 : 8. 773-778.

HENNEKENS, C.H., BURING, J.E., MAYRENT, S.L. 1998. *Épidémiologie en médecine*. Édition Frison-Roche. Paris, France. 375 p.

HUNTER, P.R., ANDERSSON, Y., VON BONSDORFF, C. H., CHALMERS, R. M., CIFUENTES, E., DEERE, D., ENDO, T., KADAR, M., KROGH, T., NEWPORT, L., PRESCOTT, A., ROBERTSON, W. 2007. *Assessing microbial safety of drinking water: improving approaches and methods. Surveillance and investigation of contamination incidents and waterborne outbreaks (Chapter 7)*. World Health Organization, Drinking Water Quality Series, International Water Publishing. London, United Kingdom. 205-235 p.

HUNTER, P.R., PAYMENT, P., ASHBOLT, N., BARTRAM, J. 2003. *Assessing microbial safety of drinking water: improving approaches and methods. Assessment of*

risk (Chapter 3). World Health Organization - Drinking Water Quality Series, IWA Publishing. London, United Kingdom. 79-109 p.

JAGALS, C., JAGALS, P. 2004. Application of HACCP principles as a management tool for monitoring and controlling microbiological hazards in water treatment facilities. *Water Science and Technology*. 50 : 1. 69-76.

JENELIUS, E., PETERSEN, T., MATTSSON, L.-G. 2006. Importance and exposure in road network vulnerability analysis. *Transportation Research, Part A*. 40 : 7. 537-560.

JONES, B., ANDREY, J. 2007. Vulnerability index construction: methodological choices and their influence on identifying vulnerable neighbourhoods. *International Journal of Emergency Management*. 4 : 2. 269-295.

KING, H.W., 1937. *Manning formula table, for the solution of pipe problems: giving diameters in inches corresponding to different rates of loss of head and different degrees of roughness of pipe surfaces (First Edition)*. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, USA.

KISTEMANN, T., HERBST, S., DANGENDORF, F., EXNER, M. 2001. GIS-based analysis of drinking-water supply structures: a module for microbial risk assessment. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 203 : 4. 301-310.

LEVESON, N.G., 2005. *Safety in integrated systems health engineering and management*. NASA Ames Integrated System Health Engineering and Management Forum. 21 p.

LEVESON, N.G., DULAC, N. 2005. *Safety and risk-driven design in complex systems-of-systems*. American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc. Orlando, Florida, United States.

New Zealand, Ministry of Health, 2002. *Public health risk management plan (Guide). Surface and groundwater sources (Version 2, Reference SI.1)*. Wellington. 24 p.

New Zealand, Ministry of Health, 2005. *A framework on how to prepare and develop public health risk management plans for drinking-water supplies*. Wellington, New Zealand. 16 p.

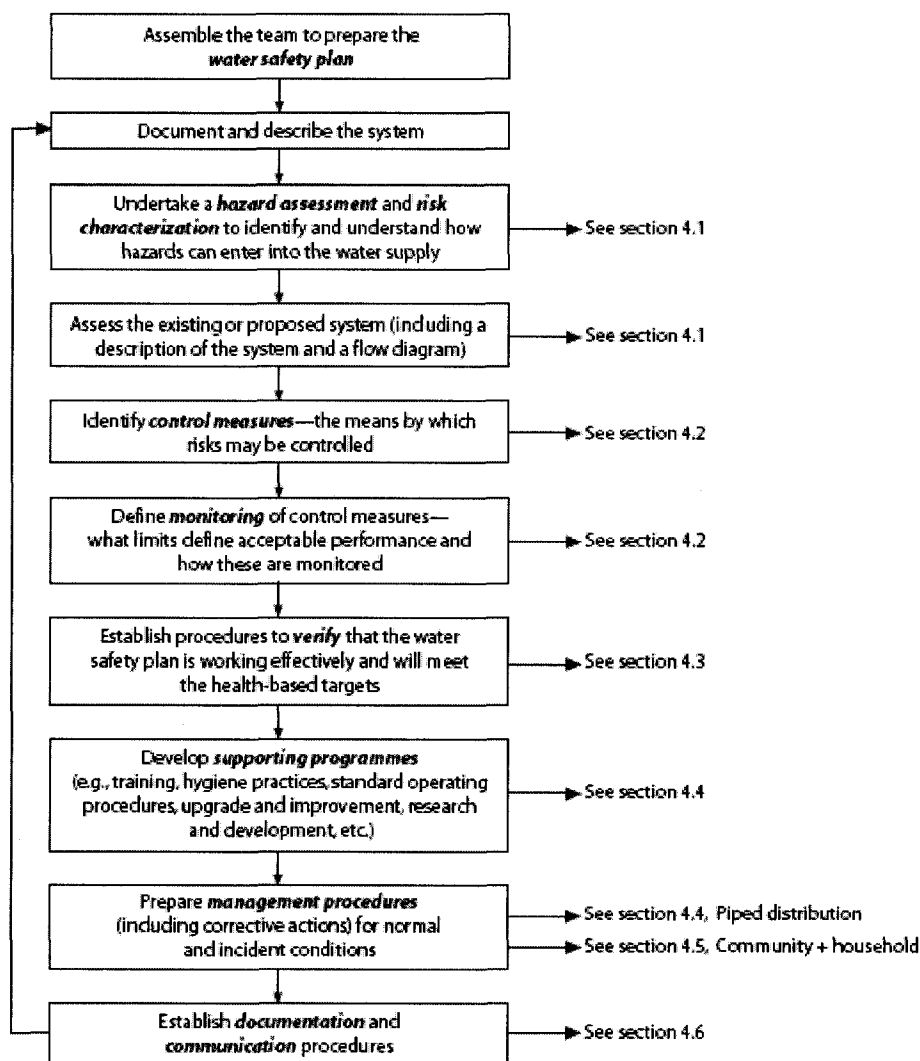
Ontario's Ministry of Environment, 2004. *Watershed based source protection: implementation committee report to the Minister of the Environment (Executive Summary)*. 15 p.

SULLIVAN, C., MEIGH, J. 2005. Targeting attention on local vulnerabilities using an integrated index approach: the example of the climate vulnerability index. *Water Science and Technology*. 51 : 5. 69-78.

World Health Organization (WHO), 2004. *Guidelines for drinking water-quality, Third Edition (Volume 1). Recommendations*. Geneva, Switzerland. 540 p.

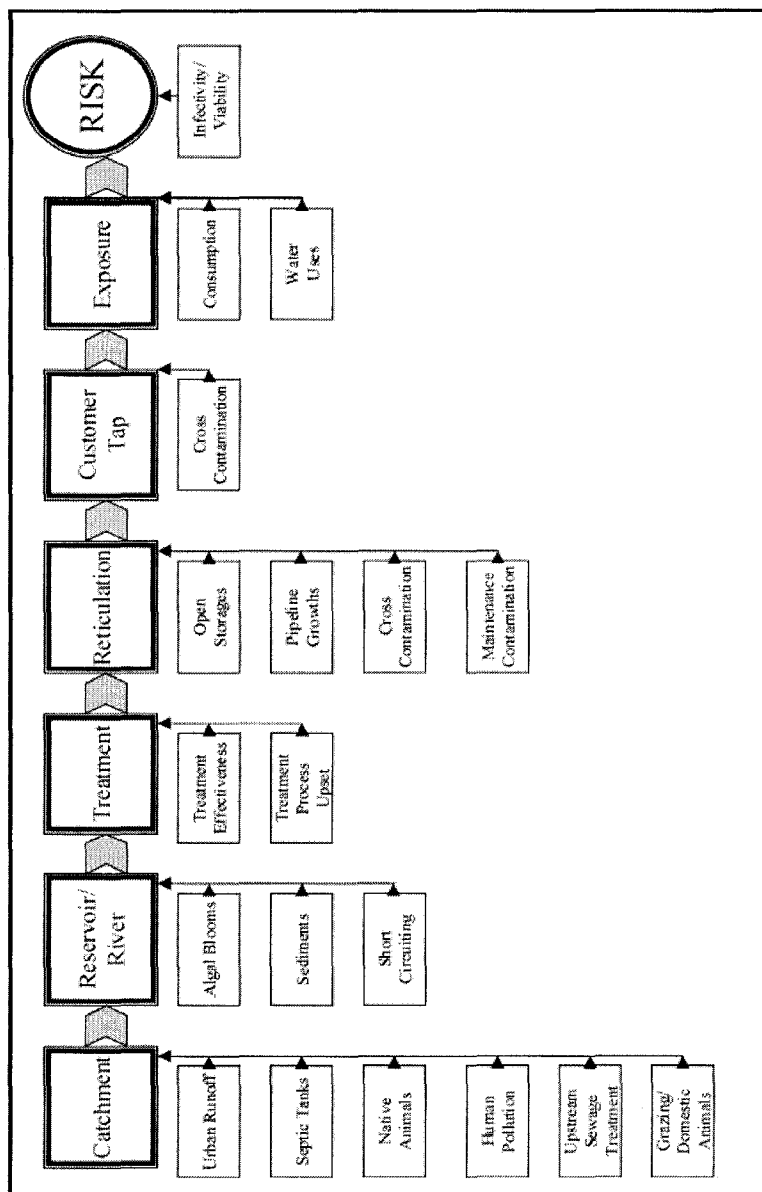
ZAYED, T., MINCHIN, R.E., BOYD, A.J., SMITH, G.R., MCVAY, M.C. 2007. Model for the physical risk assessment of bridges with unknown foundation. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 21 : 1. 44-52.

ANNEXE 1 Les étapes clés pour mettre en place un Plan d'Eau Saine de l'Organisation mondiale de la santé



Source: (World Health Organization (WHO), 2004)

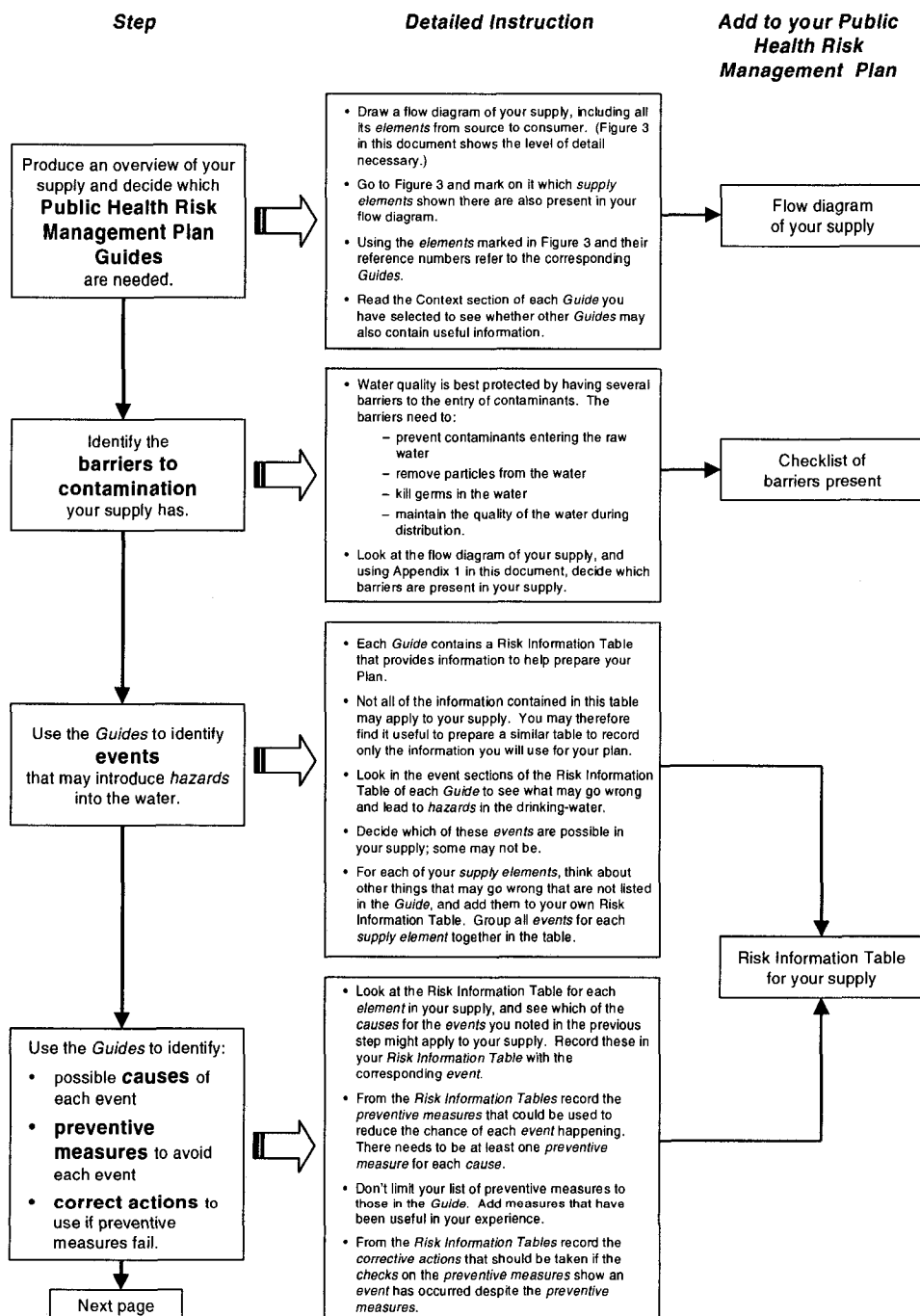
ANNEXE 2 Diagramme des multi-barrières de l'OMS

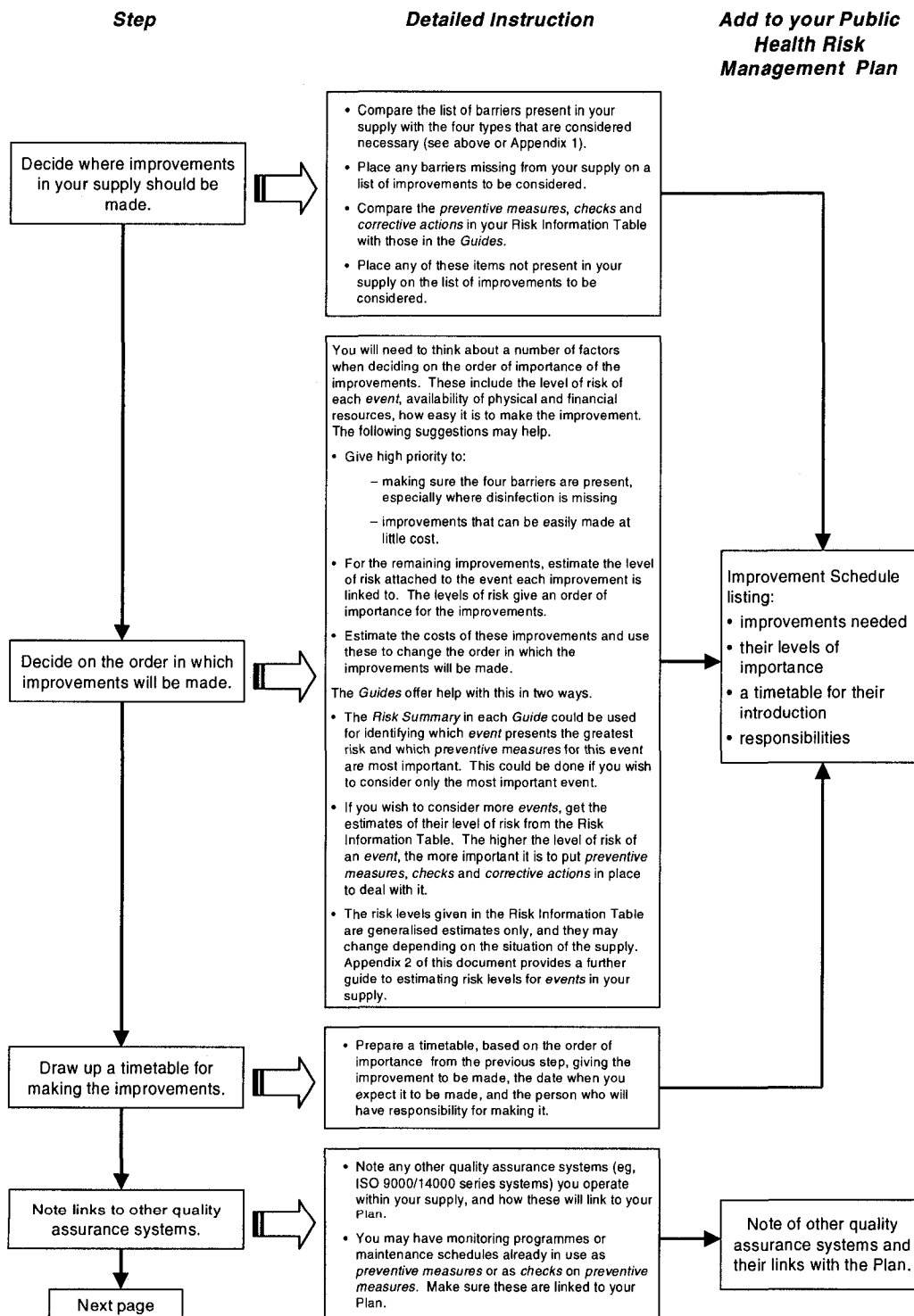


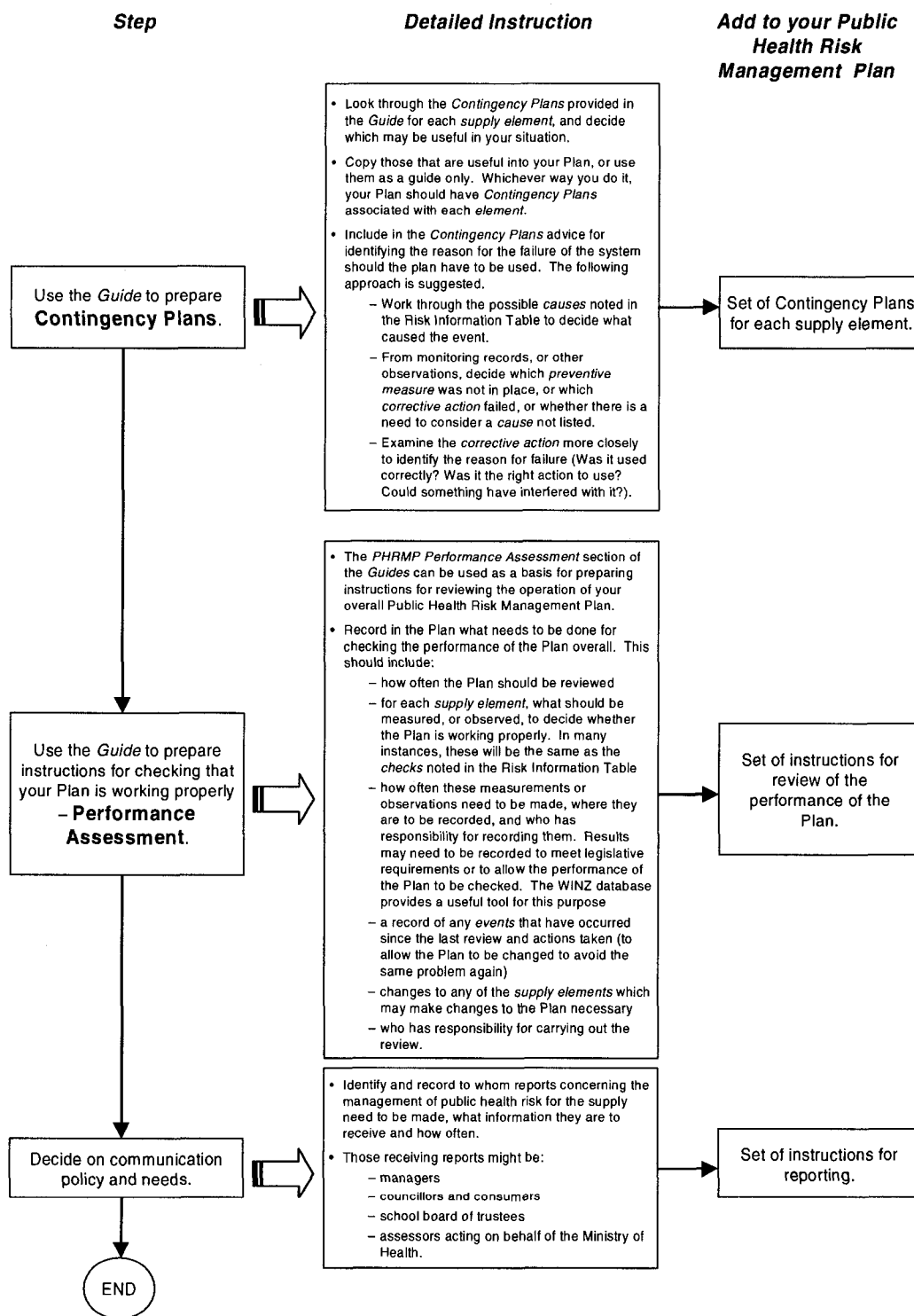
Source: (Hunter et al., 2003)

(Adapté de Stevens et al., 1995)

ANNEXE 3 « Public Health Risk Management Plan » de Nouvelle-Zélande







ANNEXE 4 Exemple de « tableau d'information sur les risques » de Nouvelle-Zélande

Causes	Preventive measures	Checking preventive measures		Corrective action
		What to check	Signs that action is needed	
Event: SOURCE WATER RECEIVES DISCHARGE OR LEACHATE FROM A CONTAMINATED SITE (including sheep dips, offal, tannery pits and carcass pits). Possible hazards: <i>Germs; chemical determinands (depending on nature of site).</i> Level of risk: Moderate-high				
S1.1.1 <ul style="list-style-type: none">Contaminated sites close enough to source water to potentially affect its quality.Poor understanding of catchment or recharge zone.Poor identification of source protection zones.No knowledge of the contaminant's existence.Possible effects of sites not recognised when source development consent was obtained.New contaminated site.	<ul style="list-style-type: none">Identify the source catchment or recharge zone, and source protection Zones I, II and III (<i>see Appendix</i>).Obtain all information available about known contaminated sites in the catchment or recharge zone.Once all contaminated sites have been identified, establish a strategy to:<ul style="list-style-type: none">develop a list of possible contaminantsmonitor water quality for evidence of health-significant contaminants,¹ and request the council to oversee site clean-updevelop a plan with the council using monitoring and site inspection to provide early-warning of source contaminationwork with the council to identify and carry out measures that can be put in place to control the spread of contaminants.Arrange for water supplier to be informed of new discharge consent applications in the source protection zone.	<ul style="list-style-type: none"><i>E. coli</i> in raw water (12 consecutive monthly samples).Any chemical determinand that might possibly be present in the contaminated sites.	<ul style="list-style-type: none">Median <i>E. coli</i> count over 12 months is more than 500/100ml.Elevated levels of contaminants in source water.Reticulated water not compliant with <i>DWSNZ: 2000</i>.Lack of knowledge of catchment/ recharge zone, and contaminated sites in the area.	<ul style="list-style-type: none">Gather more information about catchment or recharge zone.Approach council for information about contaminated sites.Arrange for council to establish strategy to deal with the effects of any contaminated sites.Consider treatment options or development of a new source.

¹ The monitoring plan should take into account seasonal changes, as lower flows can lead to higher contaminant concentrations. Situations in which contamination is most likely to occur should be identified so that monitoring can be suitably timed.

Causes	Preventive measures	Checking preventive measures		Corrective action
		What to check	Signs that action is needed	
Event: SOURCE WATER RECEIVES DISCHARGE FROM DOMESTIC OR INDUSTRIAL PROCESSES, EITHER DIRECTLY OR INDIRECTLY (excluding septic tanks) Possible hazards: <i>Germs; chemical determinands (depending on the nature of the discharge).</i> Level of risk: Moderate-high				
S1.1.2 <ul style="list-style-type: none">• Non-permitted or permitted activities² within the source protection zone.• Poor understanding of catchment or recharge zone.• No, or incomplete, knowledge of activities in the catchment or recharge zone.• Insufficient consideration of potential impact of activities when consents granted.• Council plan classes activity as permitted, and hence consent conditions do not exist.• Possible effects of sites not recognised when source development consent was obtained.• Conditions of the consent are not followed.	<ul style="list-style-type: none">• Develop an understanding of the extent of the source catchment or recharge zone. Identify source protection Zones I, II and III.• Obtain information about non-permitted activities in the catchment or recharge zone from the council.• Obtain a list of permitted activities that are potential causes of contamination.• Obtain information about permitted activities in the catchment or recharge zone by survey if not available elsewhere.• Once all discharges are identified, liaise with council to establish a strategy to:<ul style="list-style-type: none">– develop a list of possible contaminants with distance from abstraction point– monitor water quality for evidence of health-significant contaminants,¹ and request that the council arrange for reduction of contaminant loading (if necessary)– obtain monitoring results from consent holders– develop a plan with the council using monitoring and site inspection to provide "early-warning" of source contamination– work with the council to identify and carry out measures that can be put in place to control the spread of contaminants.• Ensure water supplier is informed of new discharge consent applications in the source protection zone.	<ul style="list-style-type: none">• <i>E. coli</i> in raw water (12 consecutive monthly samples).• Any chemical determinand that might possibly be present in the discharge.	<ul style="list-style-type: none">• Median <i>E. coli</i> count over 12 months is more than 500/100ml.• Elevated levels of chemical contaminants in source water.• Reticulated water not compliant with <i>DWSNZ: 2000</i>.• Lack of knowledge of catchment/ recharge zone, and sources of contamination in the area.	<ul style="list-style-type: none">• Obtain more information about catchment or recharge zone.• Approach councils for information concerning non-permitted activities in the area.• Establish strategy to deal with the effects of any discharge (eg, deep abstraction).• Consider treatment options or development of a new source.

¹ The monitoring plan should take into account seasonal changes, as lower flows can lead to higher contaminant concentrations. Situations in which contamination is most likely to occur should be identified so that monitoring can be suitably timed.

² *Permitted activities* are defined in regional and district plans. These are activities for which no resource consent is required, and because of this, councils often hold very little information that would help in managing them. The risks they create are often from non-point sources of contamination, rather than point sources.

Causes	Preventive measures	Checking preventive measures		Corrective action
		What to check	Signs that action is needed	
Event: SOURCE WATER RECEIVES DISCHARGE FROM MINING OPERATIONS Possible hazards: <i>Metal determinands and cyanide (depending on the ore and extraction process).</i> Level of risk: Low-moderate				
S1.1.3 Non-permitted or permitted activities ² within the source protection zone (see <i>S1.1.2</i>).	See <i>S1.1.2</i> .			
Event: SOURCE WATER RECEIVES LEACHATE FROM LANDFILL SITE Possible hazards: <i>Germes; chemical determinands.</i> Level of risk: Moderate				
S1.1.4 <ul style="list-style-type: none">• Non-permitted activity within the source protection zone.• Poor understanding of catchment or recharge zone.• No, or incomplete, knowledge of activities in the catchment or recharge zone.• Insufficient consideration of potential impact of activities when consents granted.• Poorly constructed landfill.• Landfill liner is damaged.• Inappropriate use of landfill (eg, wrong type of waste dumped).• Possible effects of sites not recognised when source development consent was obtained.• Conditions of the consent are not followed.	See <i>S1.1.2</i> .			
Event: SOURCE WATER RECEIVES WASTE ORIGINALLY DISCHARGED TO LAND Possible hazards: <i>Germes; chemical determinands.</i> Level of risk: Moderate-high				
S1.1.5 Non-permitted or permitted activities ² within the source protection zone (see <i>S1.1.2</i>).	See <i>S1.1.2</i> .			
Event: SOURCE WATER RECEIVES SPILLAGE, OR LEAKAGE, ARISING FROM THE STORAGE OR USE OF HAZARDOUS SUBSTANCES Possible hazards: <i>Germes; chemical determinands (depending on the nature of substances in use).</i> Level of risk: Moderate-high				
S1.1.6 Non-permitted or permitted activities ² that use hazardous substances within the source protection zone (see <i>S1.1.2</i>).	See <i>S1.1.2</i> .			

2 Permitted activities are defined in regional and district plans. These are activities for which no resource consent is required, and because of this, councils often hold very little information that would help in managing them. The risks they create are often from non-point sources of contamination, rather than point sources.

Causes	Preventive measures	Checking preventive measures		Corrective action
		What to check	Signs that action is needed	
Event: SOURCE WATER RECEIVES SEPTIC TANK DISCHARGES Possible hazards: <i>Germs; chemical determinands (predominantly nitrate and nitrite).</i> Level of risk: High				
S1.1.7 Septic tanks within the source protection zone (see S1.1.2).	<ul style="list-style-type: none">• Develop an understanding of the extent of the source catchment or recharge zone. Identify source protection Zones I, II and III.• Obtain information about the number and location of septic tank discharges in the catchment or recharge zone.• Liaise with councils to identify all septic tank disposal fields located within source protection Zone II.• Request that the council decline new applications for septic tank installation within source protection Zone II.• Once the location of septic tank discharges are known, establish a strategy to:<ul style="list-style-type: none">– monitor water quality for evidence of health-significant contaminants¹– develop a plan with the council using monitoring and site inspection to provide 'early-warning' of source contamination– in collaboration with councils, provide public information on recommended maintenance and use of septic tank systems– identify and carry out measures that can be put in place to control contamination from the existing discharges.	<ul style="list-style-type: none">• <i>E. coli</i> in raw water (12 consecutive monthly samples).• Nitrate.• Nitrite.	<ul style="list-style-type: none">• Median <i>E. coli</i> count over 12 months is more than 500/100ml.• Elevated levels of nitrate, nitrite in source water.• Reticulated water not compliant with DWSNZ: 2000.• Lack of knowledge of catchment/ recharge zone, and sources of contamination in the area.• No information to allow establishment of satisfactory separation between bores/wells and tanks.	<ul style="list-style-type: none">• Get more information about catchment or recharge zone.• Approach council for information concerning discharge consents for septic tanks in the area.• Establish strategy to deal with the effects of any septic tanks that are affecting the source.• Consider treatment options (particularly disinfection – see P7 Guide series) or development of a new source.

¹ The monitoring plan should take into account seasonal changes, as lower flows can lead to higher contaminant concentrations. Situations in which contamination is most likely to occur should be identified so that monitoring can be suitably timed.

Causes	Preventive measures	Checking preventive measures		Corrective action
		What to check	Signs that action is needed	
Event: SOURCE WATER RECEIVES RUN-OFF FROM URBAN OR SEALED SURFACES Possible hazards: <i>Germs; chemical determinands.</i> Level of risk: Moderate-high				
S1.1.8 <ul style="list-style-type: none">Urban or industrial area within source protection zone.Poor understanding of catchment or recharge zone.Poor identification of areas where run-off may be influenced by land use activities.Inadequate collection, or treatment, of run-off, and inappropriate disposal.New activity in source protection zone.	<ul style="list-style-type: none">Develop an understanding of the extent of the source catchment or recharge zone. Identify source protection Zones I, II and III.Obtain information about all sources of urban and industrial run-off and its treatment and disposal in the catchment or recharge zone.Once the presence of run-off sources is known, establish a strategy to:<ul style="list-style-type: none">monitor water quality for evidence of health-significant contaminants,¹ and request the council manages arrangements for reduced contaminant loading (if necessary)in association with councils, assess the risk management of areas where hazardous substances are stored and used, or high contaminant loading is expected (eg, petrol stations). Work with owners and councils to address any inadequaciesdevelop a plan with the council using monitoring and site inspection to provide 'early-warning' of source contaminationin collaboration with councils, provide public information on run-off from domestic activity and its impact on the water sourceidentify and carry out measures that can be put in place to control contamination from run-off.Ensure water supplier is informed of new discharge consent applications in the source protection zone.	<ul style="list-style-type: none"><i>E. coli</i> in raw water (12 consecutive monthly samples).Any chemical determinand that might possibly arise from activities in the catchment.	<ul style="list-style-type: none">Median <i>E. coli</i> count over 12 months is more than 500/100ml.Elevated levels of contaminants in source water.Treated water not compliant with <i>DWSNZ: 2000</i>.Lack of knowledge of catchment/ recharge zone, and sources of contamination in the area.	<ul style="list-style-type: none">Get more information about catchment or recharge zone.Identify areas where land use is likely to affect run-off.Establish strategy to deal with the effects of contaminated run-off.Consider treatment options or development of a new source.
Event: SOURCE WATER RECEIVES MATERIAL FROM SURFACE IMPOUNDMENTS (WASTE PONDS OR LAGOONS) EITHER TREATED DISCHARGE OR LEAKAGE Possible hazards: <i>Germs; chemical determinands. (depending on the nature of substances contained in the ponds).</i> Level of risk: Low-high				
S1.1.9 Impoundments within source protection zone (see <i>S1.1.2</i>).	See <i>S1.1.2</i> .			

¹ The monitoring plan should take into account seasonal changes, as lower flows can lead to higher contaminant concentrations. Situations in which contamination is most likely to occur should be identified so that monitoring can be suitably timed.

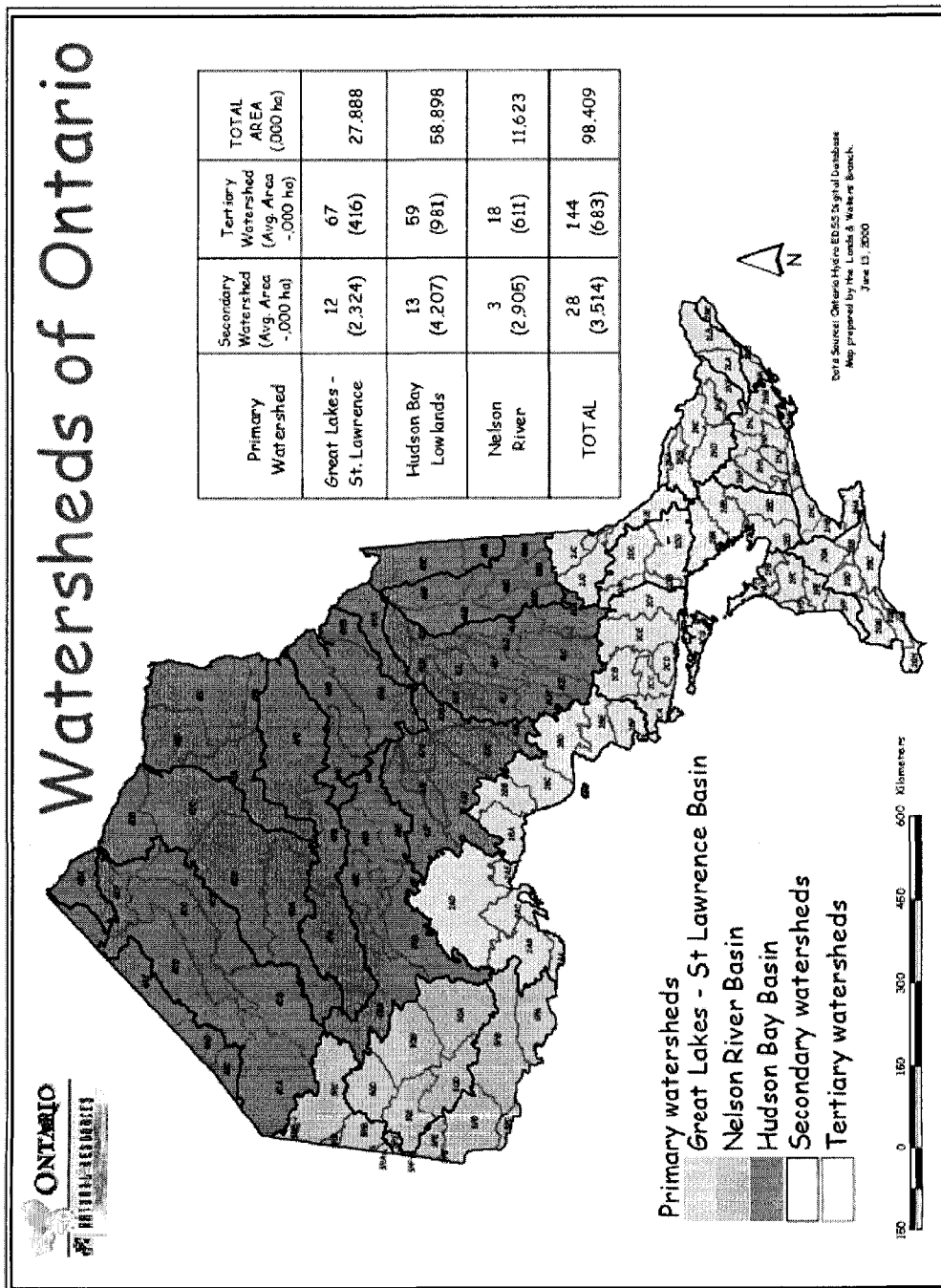
Causes	Preventive measures	Checking preventive measures		Corrective action
		What to check	Signs that action is needed	
Event: SOURCE WATER RECEIVES TREATED EFFLUENT OR UNTREATED (LEAKAGE) FROM EFFLUENT PONDS Possible hazards: <i>Germs; chemical determinands. (depending on the nature of the waste).</i> Level of risk: Low-high				
S1.1.10 Effluent ponds within source protection zone (see <i>S1.1.2</i>).	See <i>S1.1.2</i> .			
Event: SOURCE WATER QUALITY INFLUENCED BY WASTE DISPOSAL DOWN HOLE OR BORES Possible hazards: <i>Germs; chemical determinands. (depending on the nature of the waste).</i> Level of risk: Moderate-high				
S1.1.11 Waste disposal down holes or bores within source protection zone (see <i>S1.1.2</i>).	See <i>S1.1.2</i> .			
Event: SOURCE WATER RECEIVES LEAKAGE OF CONTAMINANTS DOWN ABANDONED OR DECOMMISSIONED WELLS Possible hazards: <i>Germs; chemical determinands.</i> Level of risk: Moderate-high				
S1.1.12 Abandoned or improperly decommissioned wells within source protection zone (see <i>S1.1.2</i>).	See <i>S1.1.2</i> .			
Event: SOURCE WATER RECEIVES FAECAL MATTER FROM LIVESTOCK OR FERAL ANIMALS Possible hazards: <i>Germs; chemical determinands.</i> Level of risk: High				
S1.1.13 <ul style="list-style-type: none">Animals within source protection zone.Poor understanding of catchment or recharge zone.	<ul style="list-style-type: none">Develop an understanding of the extent of the source catchment or recharge zone. Identify source protection Zones I, II and III.Limit stock density and irrigation of pastures in source protection Zone II so that faecal material does not pass into the groundwater. (Councils may be able to provide advice on the limits for stock numbers that will protect the water resource.) <p>(See <i>P1 Guide series</i>.)</p>	<ul style="list-style-type: none"><i>E. coli</i> in raw water (12 consecutive monthly samples).Nitrate.Nitrite.	<ul style="list-style-type: none">Median <i>E. coli</i> count over 12 months is more than 500/100ml.Elevated levels of nitrate or nitrite in source water.Reticulated water not compliant with <i>DWSNZ: 2000</i>.Lack of knowledge of catchment/ recharge zone.Stock with access to source water.	<ul style="list-style-type: none">Improve information available about catchment or recharge zone.Erect stock fence an appropriate distance from the source, and make sure stock are removed.

Causes	Preventive measures	Checking preventive measures		Corrective action
		What to check	Signs that action is needed	
Event: AGRICHEMICALS (INCLUDING STOCK DIP) OR POISONS ENTER SOURCE WATER Possible hazards: <i>Chemical determinands (depending on the nature of the agrichemicals).</i> Level of risk: Low-moderate				
S1.1.14 <ul style="list-style-type: none">• Agrichemical and/or poison use within source protection zone.• Poor understanding of catchment or recharge zone.• Inappropriate location of stock dips.• Inappropriate construction of stock dips and post dip drainage area.• Inappropriate disposal of used dip.• Poor understanding by the farmer of the potential consequences of their farming practices.• Lack of backflow prevention measures in chemical preparation facilities.	<ul style="list-style-type: none">• Develop an understanding of the extent of the source catchment or recharge zone. Identify source protection Zones I, II and III.• Identify farming activities in the area. Prepare a list of agrichemicals used for these farming activities.• Monitor water quality for evidence of health-significant contaminants,¹ and request that the council manage arrangements that will help to reduce the contaminant loading.• Ensure farmers are aware of codes of practice (if applicable) for agricultural chemical use, and the need for backflow prevention for their source water.	<ul style="list-style-type: none">• Chemical determinands (depending on the agrichemicals in use).	<ul style="list-style-type: none">• Concentrations of agrichemicals more than 50% of their MAV in the source water.• Reticulated water not compliant with <i>DWSNZ: 2000</i>.• Lack of knowledge of catchment/ recharge zone.• Agrichemicals still being applied in a way that is likely to contaminate the source.	<ul style="list-style-type: none">• Get more information about catchment or recharge zone.• Approach the council and MAF to arrange a seminar for farmers on good practices with respect to use of agrichemicals and poisons.

¹ The monitoring plan should take into account seasonal changes, as lower flows can lead to higher contaminant concentrations. Situations in which contamination is most likely to occur should be identified so that monitoring can be suitably timed.

Source: (New Zealand, Ministry of Health, 2002)

ANNEXE 5 BASSINS VERSANTS DE L'ONTARIO



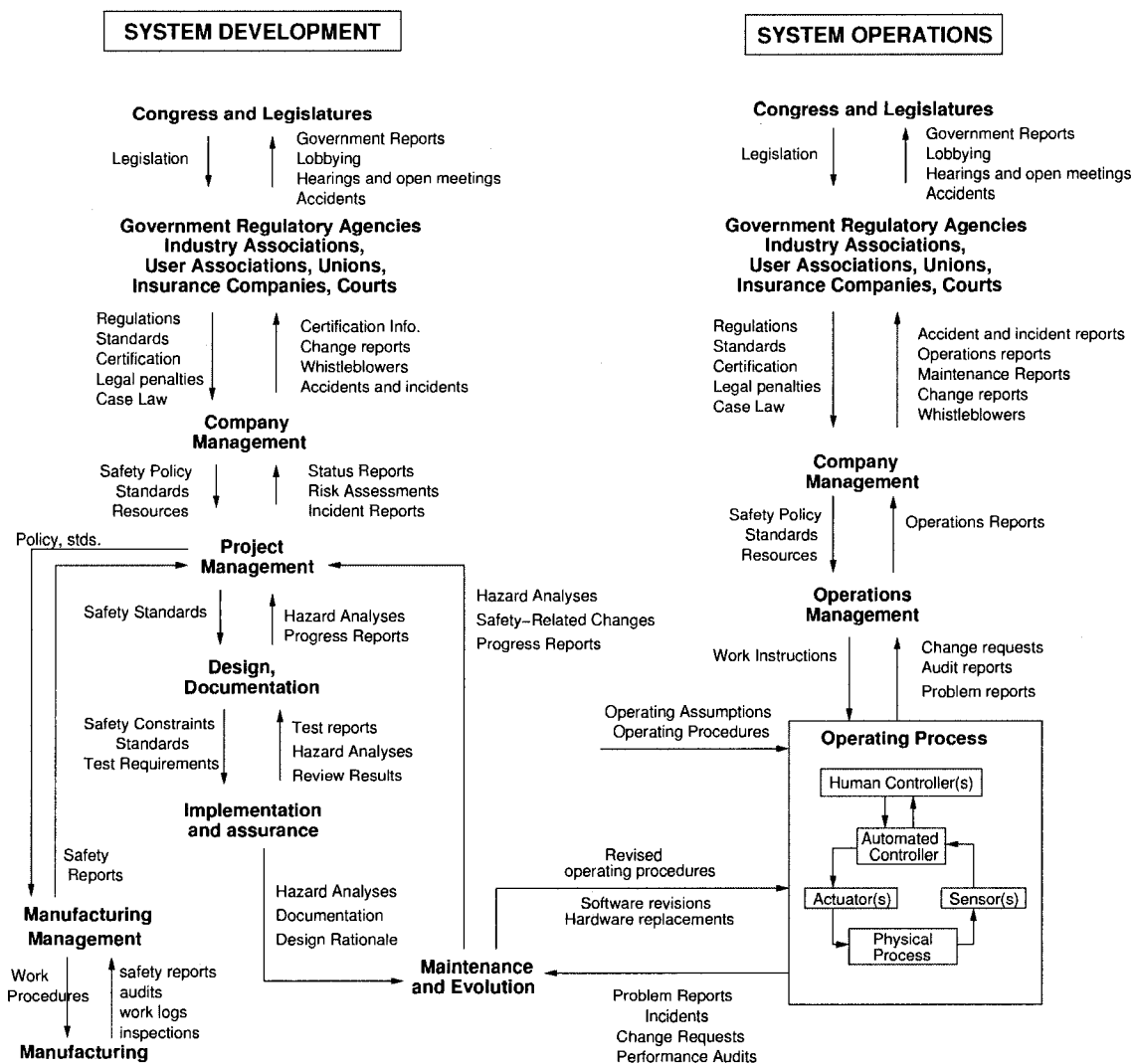
ANNEXE 6 Évènements menant à la dégradation de la qualité de l'eau potable et contribuant aux épidémies d'origine hydrique (source : (Hunter et al., 2007))

Causal event(s)	Aetiology	Water type	Cases	Reference
Pre abstraction and treatment				
Surface run off from contaminated catchment after heavy rain. Increased chlorine demand due to turbidity	<i>Campylobacter</i>	Chlorinated surface water	3 000	Vogt <i>et al.</i> , 1982
Contaminated surface run off from melt water and heavy rain entering municipal wells	<i>Campylobacter</i>	Untreated ground water	241	Millson <i>et al.</i> , 1991
Drought followed by heavy rain agricultural surface run off and poor coagulation and mixing	<i>Cryptosporidium</i>	Chlorinated and package filtered river water	34	Leland <i>et al.</i> , 1993
Poor mixing and flocculation with filters started up without backwashing	<i>Cryptosporidium</i>	Surface water (CT)	13 000	Rose <i>et al.</i> , 1997
Increase in turbidity, poor coagulation and backwash recycling	<i>Cryptosporidium</i>	Surface water (CT)	403 000	Rose <i>et al.</i> , 1997
Catchment contaminated by higher than realised population, chlorine dosage too low	<i>Giardia</i>	Chlorinated surface water	350	Shaw <i>et al.</i> , 1977

Causal event(s)	Aetiology	Water type	Cases	Reference
Post abstraction and treatment				
Backflow of farm contaminated river water due to low mains pressure	<i>Campylobacter</i>	Sand filtered groundwater	2 000	Mentzing, 1981
Agricultural run-off entering unsealed supply	<i>Cryptosporidium</i>	Surface water (CT)	27	Badenoch, 1990
Deliberate contamination of water storage tank	<i>Giardia</i>	Municipal supply	9	Ramsay and Marsh, 1990
Cross connection between pressure dropped potable and wastewater lines at pump wash	<i>Giardia</i> & <i>Entamoeba</i>	Surface water (CT)	304	Kramer <i>et al.</i> , 1996b
Sewage overflow entering pipes after repairs of ice breaks made without post chlorination	<i>E. coli</i> O157	Municipal supply	243	Swerdlow <i>et al.</i> , 1992
Birds entering water storage tank	<i>Salmonella</i>	Untreated ground water	650	Angulo <i>et al.</i> , 1997

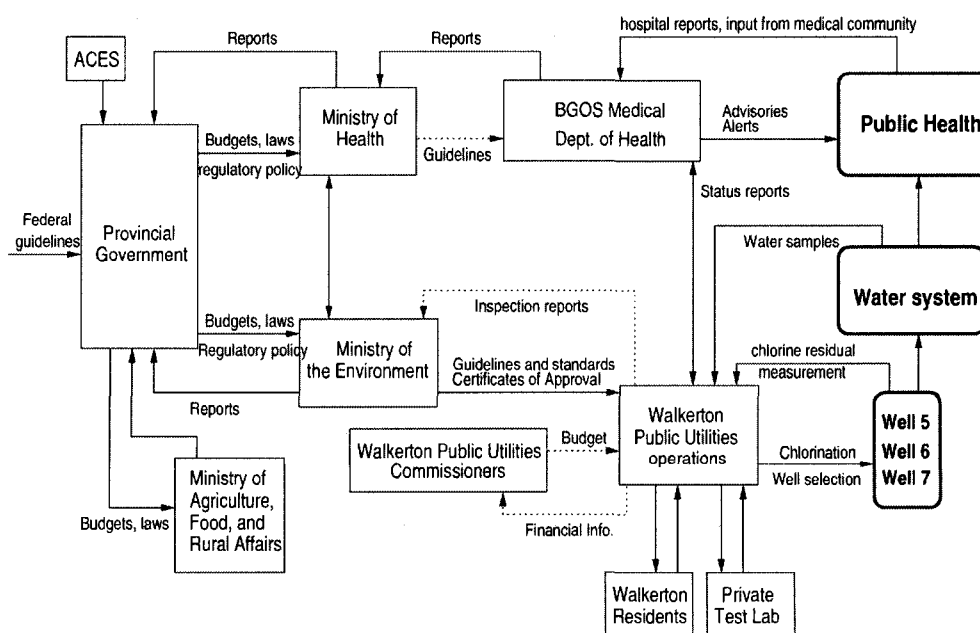
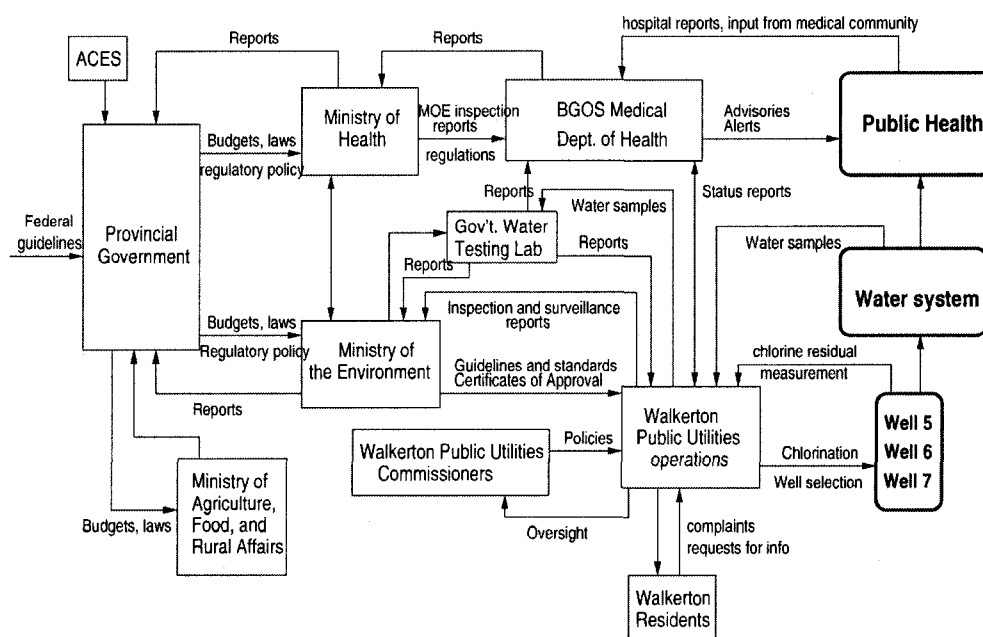
CT: conventionally treated.

ANNEXE 7 Forme générale du modèle de sécurité technico-social



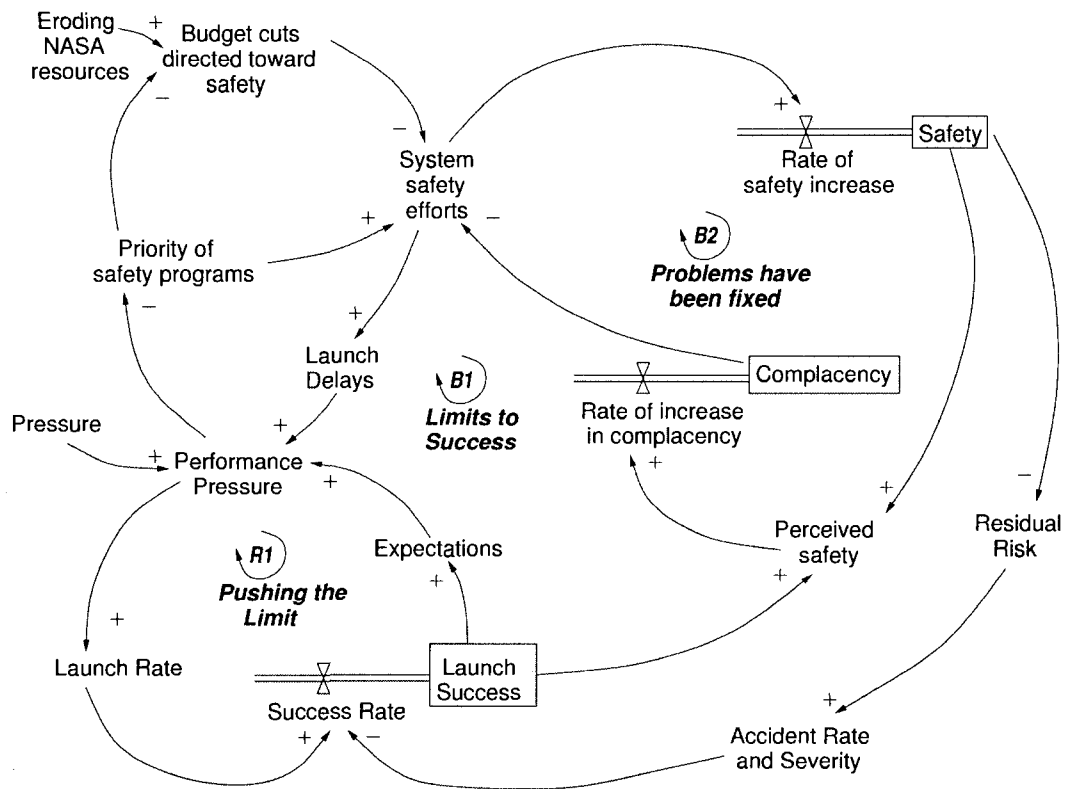
Source: (Leveson, 2005)

ANNEXE 8 Structure du contrôle de la sécurité pour l'incident d'eau contaminée de Walkerton



Source: (Leveson, 2005)

ANNEXE 9 Modèle simplifié de la dynamique du système qui a mené à la perte de la navette Columbia



Source: (Leveson, 2005)

ANNEXE 10 Méthode de classification « Jenks Natural Breaks »

About Jenks' natural breaks

Jenks' natural breaks classification determines the best arrangement of values into classes by comparing the sum of squared differences of values from the means of their classes. For datasets with many values, such as counties, Jenks' natural breaks method can be a lengthy process.

The best classification minimizes within-class sum of squared differences. STIS finds the best breaks between data values with this method. When it creates the classification scheme, it sets the break value to the midpoint between these two values.

This technique first orders the values from low to high. It then calculates the sum of squared difference (SSD) for the possible first breaks, calculating the SSD for every possible break. It then finds the SSD for each of the next possible breaks, as if a previous break had already happened. It determines the SSDs for all of the requested breaks, and then it chooses the best last break from the last list of SSDs, the best second to last break from the second to last list, etc. This provides the best set of breaks from the entire list of possible breaks.

$SSD_{i..j} = \sum_{n=i}^j (A[n] - \text{mean}_{i..j})^2$ <p>which can be substituted to</p> $SSD_{i..j} = \sum_{n=i}^j A[n]^2 - \frac{\left(\sum_{n=i}^j A[n] \right)^2}{j - i + 1}$	<p>Notation</p> <p>A is the set of values that have been ordered from 1 to N.</p> <p>$1 \leq i < j < N$</p> <p>Mean_{i..j} is the mean of the class bounded by i and j.</p>
--	---

Source : Manuel d'utilisateur de ArcGIS.